



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Collegio dei Docenti

Prof.: A. De Luca, A. Evangelista, A. Flora, F. Fascia, R. Iovino, G. Manfredi, F. M. Mazzolani, L. Nunziante, M. Pasquino, P. Petrella, R. Ramasco, G. Romano, L. Rosati, G. Russo, C. Viggiani

Coordinatore

Prof. Federico M. Mazzolani

**DOTTORATO DI RICERCA IN "INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI"
XX CICLO**

Indirizzo: Recupero Edilizio ed Innovazione Tecnologica

TESI DI DOTTORATO

**CAMPO DI APPLICAZIONE DELLE CHIUSURE
VERTICALI OPACHE NEL RISPETTO DELLA
NORMATIVA VIGENTE SULLA CERTIFICAZIONE
ENERGETICA**

Dottorando

Dott. Ing. Carlo Calzetta

Tutor

Prof. Ing. Renato Iovino

Prof. Arch. Flavia Fascia

Novembre 2004- Ottobre 2007

Introduzione

Obiettivo della ricerca

La problematica relativa alla certificazione energetica si inquadra nell'ottica dello Sviluppo Sostenibile.

Il problema energetico costituisce infatti attualmente uno dei temi più importanti per i paesi industrializzati e per i paesi in via di sviluppo.

Negli ultimi anni sono stati stipulati numerosi accordi a livello internazionale, a partire dalla convenzione di Ginevra del 1979, per giungere nel 1997 al protocollo di Kyoto.

Quest'ultimo stabilisce tempi e entità della riduzione delle emissioni di gas serra entro il 2012 ed individua in maniera esplicita le politiche e le azioni da intraprendere.

La volontà di dar vita ad un approccio integrato della progettazione edilizia che consenta di dare un'adeguata risposta ai requisiti imposti dall'adozione del protocollo di Kyoto sulla limitazione delle emissioni di gas serra, ha dato vita alla Direttiva europea 2002/91/CE, recepita in vari modi dai diversi paesi europei così come in Italia, dove ha dato vita al D.lgs 192/2005 e successivamente al 311/2006.

Obiettivo della ricerca è valutare le qualità prestazionali delle chiusure verticali opache ed individuare attraverso un abaco la soluzione progettuale che risponda ai requisiti richiesti dalla Normativa Italiana al 1° gennaio 2010 in riferimento all'Indice di Prestazione Energetica (EPI).

INDICE

Introduzione.....	1
Obiettivo della ricerca	
 Capitolo 1: Lo sviluppo sostenibile.....	3
1.1 Progettazione Bioclimatica	3
1.2 Cenni di Bio-architettura	5
1.3 La certificazione energetica nell'ottica dello sviluppo sostenibile	7
1.4 La problematica a livello europeo	9
1.5 La problematica a livello Italiano	10
 Capitolo 2: Il contesto normativo nazionale ed internazionale.....	11
Introduzione	11
2.1 La Direttiva 2002/91/CE	12
2.1.1 I principali contenuti della direttiva	13
2.2 La politica energetica ed il contesto legislativo	13
2.3 Il D.P.R. 380/2001 e la l.10/1991	14
2.4 Dalla legge 10/91 al D.lgs n. 192/2005	15
2.4 La circolare 8865 del 23/5/2006	15
2.5 Il D.lgs 192/2005	15
2.5.1 Gli ambiti di intervento	24
2.6 La circolare 8865 del 23/5/2006	27
2.7 La circolare 311 del 29/12/2006	28
2.8 Criteri per la progettazione	30
2.9 Adempimenti prima della fine dei lavori	36

Capitolo 3: Il contesto europeo e mondiale.....	37
3.1.1. Tipologie di certificazione	37
3.2. L'esperienza danese	39
3.2.1. La politica energetica in Danimarca	39
3.2.2. Lo schema di certificazione ELO	40
3.2.3. Lo schema di certificazione EM	40
3.2.4. Confronto tra gli schemi di certificazione energetica danesi e la Direttiva europea	41
3.3. L'esperienza britannica	41
3.3.1. La politica energetica nel Regno Unito	41
3.3.2. La procedura standard per la stima energetica degli edifici	42
3.3.3. Il metodo di valutazione ambientale Breeam	43
3.4. L'esperienza francese	44
3.4.1. Le politiche energetiche ed il contesto legislativo	44
3.4.2. Il regolamento termico RT 2000	46
3.4.3. Il Certificato energetico HPE	47
3.5. L'esperienza tedesca	47
3.5.1. La politica energetica tedesca	47
3.6. L'esperienza Olandese	48
3.6.1. Gli indicatori della prestazione energetica in Olanda	48
3.6.2. Lo standard olandese NEN 2916 ^{1,2}	50
3.7. L'esperienza Austriaca	50
3.7.1. Il programma di certificazione energetica in Austria	50
3.8. L'esperienza Svizzera	51
3.8.1. Lo standard MINERGIE	51
3.9. L'esperienza U.S.A.	52
3.9.1. Il modello di certificazione ambientale statunitense	52

Capitolo 4: Il contesto Italiano.....	55
4.1 La politica energetica ed il contesto legislativo	55
4.2 La programmazione regionale	58
4.2.1 Il Regolamento edilizio tipo ed i requisiti volontari della regione Emilia Romagna	59
4.2.2 Il regolamento Provinciale di Trento sul risparmio energetico	60
4.2.3 Il regolamento Provinciale di Bolzano sul risparmio energetico	62
4.2.4 L'esperienza della regione Lombardia	65
4.2.5 Il Protocollo ITACA per la certificazione energetica ed ambientale degli edifici	66
 Capitolo 5: I Parametri chiave della certificazione energetica.....	 69
Introduzione	69
5.1. La compattezza dell'edificio	70
5.2. La trasmittanza degli elementi costruttivi	71
5.2.1 Caso particolare: pavimenti posati sul terreno	73
5.2.2 Trasmittanza per superfici vetrate	74
5.2.3 La diminuzione della trasmittanza	75
5.3 I ponti termici	76
5.4 L'inerzia termica	78
5.4.1. La valutazione dell'inerzia termica	80
5.4.2 L'inerzia termica ed il risparmio energetico	80
5.5 L'orientamento dell'edificio le superfici vetrate (tipo, area ed orientamento)	81
5.6 L'impianto di riscaldamento	85
5.6.1 Impianti termici con caldaia a gas o a metano	86
5.6.2 Il riscaldamento elettrico	87

5.6.3 L'utilizzo delle energie rinnovabili o di altri sistemi di risparmio energetico	87
5.7 La ventilazione ed il raffrescamento passivo	88
5.7.1 La ventilazione naturale	88
5.7.2 La ventilazione meccanica	92
5.7.3 Il raffrescamento radiativo	92
5.7.4 Il raffrescamento evaporativo	93
5.7.5 Il raffrescamento per scambio termico con il terreno	94
5.8 Illuminazione degli ambienti	95
5.9 Apporti Interni	96
5.10 Apporti solari	96
5.10 .1 Sistemi a guadagno diretto	98
5.10 .2 Sistemi a guadagno indiretto	99
5.11 Bilancio energetico	101
5.12 La condensazione del vapor d'acqua nelle strutture edilizie	105
5.12.1 Il diagramma di Glaser	108
5.13 Le caratteristiche richieste ai "materiali bio-edili":	108
5.13.1 Sintetiche indicazioni per la scelta dei materiali in edilizia	109
5.14 Utilizzo del verde: Effetto estetico e climatico	113
5.15 Gli Edifici passivi	114
5.15.1 La Casa Passiva nelle regioni mediterranee	115
5.15.2 L'involucro edilizio	116
5.16 Il benessere termoigrometrico	117

Capitolo 6: I Componenti dell'involucro edilizio e la loro

rispondenza alle esigenze energetiche.....	119
6.1. Il vetro	119
6.2 Gli Isolanti	124
6.3 I serramenti	125
6.4 Le facciate ventilate in laterizio	126
6.4.1 Soluzioni progettuali	126
6.4.1.1 Schema di funzionamento dei canali di ventilazione esterna	127
6.4.1.2 Il muro di tamponamento	128
6.4.1.3 La facciata ventilata di cotto	130
6.5 Prestazioni termiche dell'involucro edilizio	132
6.6 Massa termica e risparmio energetico	133
6.6.1 Risparmio energetico e scomputo degli extraspessori dell'involucro edilizio	136
6.7 Le prestazioni termiche del laterizio	137
6.7.1 Ricette di chiusura	138
 Capitolo 7: Il progetto dell'involucro.....	 141
7.1 L'elemento di fabbrica di confine	141
7.2 Tipologie costruttive delle chiusure d'ambito	142
7.3 L'elemento costruttivo di rivestimento	148
7.4 Il progetto termico dell'elemento di fabbrica di confine	152
7.4.1 Simboli e definizioni	154
7.4.2 Definizioni e termini	158
7.5 Parametri per il progetto termico dell'involucro	166
7.6 I principi di base della trasmissione del calore	182
7.7 Il progetto dell'isolamento termico nel rispetto delle disposizioni di legge	191

Capitolo 8: Repertorio di soluzioni di chiusure opache.....	199
8.1 Le soluzioni tecnologiche per le tamponature in blocchi	199
8.2.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato di rivestimento esterno continuo (PV 1.1)	202
8.2.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato di rivestimento esterno continuo (PV 1.2)	206
8.3.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato portante esterno a facciavista (PV 2.1)	210
8.3.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato portante esterno a facciavista (PV 2.2)	214
8.4.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato di ventilazione, strato coibente esterno e strato di finitura esterno discontinuo (PV 3.1)	218
8.4.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato di ventilazione, strato coibente esterno e strato di finitura esterno discontinuo (PV 3.2)	222
Capitolo 9: Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di legge	227
9.1 Verifica delle possibilità di impiego delle varie soluzioni nelle diverse zone climatiche	227
9.1.1 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in vetro cellulare	229
9.1.2 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in polistirene	231
9.1.3 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in sughero	233
9.2 Confronto Massa/Costi	235
9.2.1 Confronto Massa/Costi con pannelli in vetro cellulare	235
9.2.2 Confronto Massa/Costi con pannelli in polistirene	236
9.2.3 Confronto Massa/Costi con pannelli in sughero	237
9.3 Confronto Benefici/Costi	238
9.2.1 Confronto Benefici/Costi con pannelli in vetro cellulare	238
9.2.2 Confronto Benefici/Costi con pannelli in polistirene	239
9.2.3 Confronto Benefici/Costi con pannelli in sughero	240
9.4 Confronto con i valori dell'Epi al 01/01/2010	241
9.5 Confronto dell'EPI con le soluzioni di chiusura scelte	244
9.6 Calcolo di Epi/NV $\Delta T f(\beta, S/V)$ per P.V.1.1	246
9.7 Calcolo di Epi/NV $f(Epi/NV \Delta T, \Delta T)$ per P.V.1.1	249

9.8 Calcolo di Epi f(Epi/NV,N)	251
9.9 Epi di legge	253
9.10 Confronto dell'Epi di legge con quello di calcolo	254
9.11 Confronto dell'Epi di legge con gli standard Casaclima	257
9.12 Possibilità di sviluppo della ricerca	258
 Capitolo 10: Conclusioni.....	 259
10.1 Sintesi e risultati raggiunti	259
Bibliografia	263

A mamma e papà

Capitolo 1

Lo sviluppo sostenibile

1.1 Progettazione bioclimatica

Lo sviluppo dell'architettura bioclimatica rappresenta un notevole potenziale per il risparmio energetico, e la riduzione dell'inquinamento ambientale, se si pensa che in Europa, l'energia consumata dagli edifici per il riscaldamento, la climatizzazione e gli impianti, rappresenta circa il 40% del consumo di energia primaria.

In particolare, da uno studio condotto dall'Unione Europea sul contributo dell'energia solare al risparmio energetico, risulta che il sole fornisce il 13% dell'energia primaria utilizzata nelle abitazioni e negli altri edifici UE, e si prevede che questa quota può crescere di oltre la metà entro l'anno 2010.

Proprio per l'incidenza che questo settore assume, si presenta di particolare importanza la diffusione dell'architettura bioclimatica attraverso l'impiego di idonee tecnologie ed opportuni criteri di progettazione sia per le nuove costruzioni che per il recupero energetico di quelle esistenti.

In Italia, nel solo settore residenziale, dei 18 milioni di alloggi esistenti, almeno 4 milioni e mezzo hanno consumi energetici per il riscaldamento, più elevati rispetto

alla norme, di questi, almeno 2 milioni presentano convenienti possibilità di interventi di recupero per una sostanziale riduzione dei consumi energetici. E' quindi necessario, in fase di progettazione, considerare i condizionamenti determinati dalle condizioni climatiche dell'ambiente esterno, operando scelte appropriate in base ai criteri di progettazione bioclimatica.

L'avvento della rivoluzione industriale e l'accresciuta disponibilità delle fonti di energia a basso costo (carbone,gas,petrolio,elettricità) porta a diverse conseguenze: i principi di progettazione bioclimatica, che hanno caratterizzato le antiche tecniche costruttive, cominciano ad essere trascurati fino a delegare agli impianti la risoluzione dei problemi legati al comfort ambientale.

Si verifica, progressivamente, una vera e propria "sostituzione di conoscenze e tradizioni costruttive", che in qualche caso coincide con una "perdita di sapere tecnico".

Sin dall'avvento della crisi energetica del 1973 per arrivare poi a quella che si sta consolidando in questi mesi con il continuo aumento del prezzo del petrolio si è reso necessario controllare i consumi, imponendo ai progettisti ed agli imprenditori del settore immobiliare l'introduzione di materiali e tecnologie per la conservazione energetica e l'uso di fonti rinnovabili.

Lo sviluppo dell'architettura bioclimatica rappresenta un notevole potenziale per il risparmio energetico, e la riduzione dell'inquinamento ambientale, se si pensa che in Europa, l'energia consumata dagli edifici per il riscaldamento, la climatizzazione e gli impianti, rappresenta circa il 40% del consumo di energia primaria.

In particolare, da uno studio condotto dall'Unione Europea sul contributo dell'energia solare al risparmio energetico, risulta che il sole fornisce il 13% dell'energia primaria utilizzata nelle abitazioni e negli altri edifici UE , e si prevede che questa quota può crescere di oltre la metà entro l'anno 2010.

Proprio per l'incidenza che questo settore assume, si presenta di particolare importanza la diffusione dell'architettura bioclimatica attraverso l'impiego di idonee

tecnologie ed opportuni criteri di progettazione sia per le nuove costruzioni che per il recupero energetico di quelle esistenti.

In Italia, nel solo settore residenziale, dei 18 milioni di alloggi esistenti, almeno 4 milioni e mezzo hanno consumi energetici per il riscaldamento, più elevati rispetto alla norme, di questi, almeno 2 milioni presentano convenienti possibilità di interventi di recupero per una sostanziale riduzione dei consumi energetici. E' quindi necessario, in fase di progettazione, considerare i condizionamenti determinati dalle condizioni climatiche dell'ambiente esterno, operando scelte appropriate in base ai criteri di progettazione bioclimatica.

L'avvento della rivoluzione industriale e l'accresciuta disponibilità delle fonti di energia a basso costo (carbone,gas,petrolio,elettricità) porta a diverse conseguenze: i principi di progettazione bioclimatica, che hanno caratterizzato le antiche tecniche costruttive, cominciano ad essere trascurati fino a delegare agli impianti la risoluzione dei problemi legati al comfort ambientale.

Si verifica, progressivamente, una vera e propria "sostituzione di conoscenze e tradizioni costruttive", che in qualche caso coincide con una "perdita di sapere tecnico".

Sin dall'avvento della crisi energetica del '73 per arrivare poi a quella che si sta consolidando in questi mesi con il continuo aumento del prezzo del petrolio si è reso necessario controllare i consumi, imponendo ai progettisti ed agli imprenditori del settore immobiliare l'introduzione di materiali e tecnologie per la conservazione energetica e l'uso di fonti rinnovabili.

1.2 Cenni di bio-architettura

La globalità degli aspetti che concorrono a determinare la qualità abitativa è ben interpretata da alcuni studi e programmi che pongono l'accento sulla centralità della vita anche nell'atto tecnico del costruire: modi di fare architettura regolati oltre che da criteri morfologici, dimensionali e distributivi, anche dall'esigenza di interagire

con il mondo vivente, con l'ambiente naturale e con il clima. Per definirli, la pubblicistica ha individuato diversi termini, alternativi anche se non sinonimi: bioarchitettura, bioedilizia, biologia edile, architettura bioclimatica, architettura bioecologica. Anche se i termini sono relativamente recenti, i criteri costruttivi che interpretano appartengono alle tradizioni di ogni popolo, purtroppo dimenticati ogni volta che, nella storia delle costruzioni, si sono privilegiati obiettivi di carattere stilistico o celebrativo o, peggio ancora come avviene oggi di carattere economico. Il malinteso asservimento all'innovazione tecnica ha provocato, poi, la crescente artificializzazione dell'ambiente costruito, senza che ne fossero verificate le conseguenze sulle condizioni psico-fisiche degli abitanti.

Perciò oggi presso il pubblico ottengono particolare credito le scuole architettoniche che ripropongono e sostengono la necessità di riconsiderare l'equilibrio ecobiologico come obiettivo centrale di ogni evento costruttivo.

Caratteristica della bioarchitettura è pensare all'abitare concentrandosi sulle caratteristiche biologiche, fisiche ed energetiche degli individui, intendendo l'abitazione come l'insieme dei manufatti, impianti tecnici, forme, colori, e conoscenza delle energie del sito di localizzazione. Emerge, quindi una visione ecologica dell'abitare che molta attenzione alle interferenze ed alle sinergie che esistono tra uomo pianeta e cosmo.

La costruzione e la conduzione degli edifici, sono responsabili dell'impiego di circa il 40% delle risorse energetiche e del rilascio nell'atmosfera di circa il 40% di CO² in atmosfera.

L'Italia poi è caratterizzata da alcune specificità quali:

- una progressiva riduzione delle attività edificatorie ex novo
- un degrado piuttosto diffuso del parco edilizio esistente.

Le proprietà di isolamento termico dell'involucro quali la tenuta sia termica che alle infiltrazioni degli infissi, le prestazioni acustiche ed illuminotecniche e le emissioni inquinanti degli arredi e dei macchinari presenti all'interno degli edifici, sono oggi in

gran parte degli edifici esistenti, al di sotto dei nuovi standard e delle prestazioni imposte dalle più recenti normative.

Con l'emanazione della nuova direttiva 2001/91/CE del parlamento europeo in materia di rendimento energetico negli edifici, si ha di certo una rivoluzione positiva dell'intero settore, essendo fissati dalla normativa gli standard di efficienza riferiti a tutti i fattori che influenzano il consumo energetico, requisiti che dovranno essere rivisti con scadenze periodiche regolari, e comunque ogni cinque anni. Tutto ciò ha portato ad un approccio integrato della progettazione edilizia che ci consente anche di dare un'adeguata risposta ai requisiti imposti dall'adozione del protocollo di Kyoto sulla limitazione delle emissioni di gas serra.

1.3 La certificazione energetica nell'ottica dello sviluppo sostenibile

La problematica relativa alla certificazione energetica si inquadra nell'ottica dello Sviluppo Sostenibile. Dove per Sviluppo Sostenibile si intende la necessità di garantire un più equo sviluppo sociale ed economico nei limiti del rispetto ambientale e della gestione delle risorse energetiche.

Il problema energetico costituisce infatti attualmente uno dei temi più importanti per i paesi industrializzati e per i paesi in via di sviluppo.

Negli ultimi anni sono stati stipulati numerosi accordi a livello internazionale, a partire dalla convenzione di Ginevra del 1979, per giungere nel 1997 al protocollo di Kyoto. Questo stabilisce tempi e entità della riduzione delle emissioni di gas serra entro il 2012 ed individua in maniera esplicita le politiche e le azioni da intraprendere.

Nel contesto dell'unione europea, ciò ha costituito un nuovo quadro di riferimento per lo sviluppo di norme comunitarie legate al risparmio energetico, ai cambiamenti climatici ed alla gestione delle risorse ambientali ed energetiche.

In questo contesto, il primo intervento riguarda la nascita di un organismo che ha la funzione di studiare i cambiamenti climatici dovuti all'azione dell'uomo sul pianeta: l'International Panel on Climate Change (IPCC), che è stato istituito dall'ONU nel 1988.

Nel 2001 l'IPCC ha definito il terzo rapporto sul cambiamento climatico dal quale risulta che la maggior parte del surriscaldamento dello strato inferiore dell'atmosfera, non è imputabile a cause naturali ma, è attribuibile alle attività umane o meglio alle emissioni dei gas serra che trattengono il calore in prossimità del suolo.

Nonostante le decisioni prese durante i vari incontri internazionali, le cose non sembrano essere di molto cambiate; le emissioni di CO₂ sono cresciute, nell'ultimo decennio, dell'1,4% annuo rimanendo lontano dai valori previsti.

In particolare dall'ultimo vertice mondiale, è risultato:

- l'aumento del consumo energetico mondiale e dei combustibili fossili da cui dipende l'80% della produzione energetica mondiale;
- che il fabbisogno elettrico mondiale è coperto per il 17% dall'energia nucleare e solo per il 4% da fonti rinnovabili (idraulica, biomasse, geotermale, eolica e solare);

Emerge l'esigenza di verificare ed adeguare le prestazioni ambientali degli edifici.

L'accresciuto livello degli stili di vita della gente esige che gli edifici forniscano delle prestazioni indoor sempre più sofisticate. Ai tradizionali parametri termici ed idrometrici, occorre aggiungere infatti le prestazioni concernenti la qualità dell'aria, nonché i requisiti acustici ed illuminotecnici. Per cui si ha la necessità di un approccio da parte dei tecnici differente da quello avuto fino a poco tempo fa. Questi infatti sono chiamati ad affrontare in una visione integrata il progetto dell'edificio, con metodi di indagine e valutazione che consentano di stimare quale sia l'impatto complessivo sull'ambiente e sulle risorse dell'intero ciclo di vita di un edificio : dalla fase di costruzione a quella di gestione, sino alla sua dismissione. In sostanza si ha l'esigenza di passare dal tradizionale approccio che indaga le prestazioni del sistema

“edificio-impianto” ad un approccio maggiormente consapevole della profonda integrazione fra l’edificio ed il contesto urbano ed ambientale nel quale si trova ad agire.

1.4 La problematica a livello europeo

A livello europeo, vista la necessità di rispettare la sottoscrizione di KYOTO in merito alla riduzione dei gas serra si è definito nel 2001 un programma di azione nel quale l’Unione Europea, che è responsabile del 15,4% dei consumi energetici mondiali, si propone di ridurre le emissioni dell’8% rispetto a quelle del 1990, entro il 2008/2012.

Analizzando in particolare la situazione energetica dei paesi dell’Unione Europea , si denota che gli edifici rappresentano il settore di maggior consumo dell’energia (il 41%del totale). I consumi registrati negli edifici sono dovuti principalmente al riscaldamento ed alla climatizzazione degli ambienti, seguiti dalla produzione di acqua calda sanitaria, dall’illuminazione e dagli elettrodomestici.

Ad oggi il livello globale di emissione si è ridotto del 2,9% rispetto al 1990 ma questo, non garantisce il raggiungimento dell’8% previsto per il 2008/2012.

Vista la tendenza attuale dei consumi energetici, l’Unione Europea necessita l’adozione di una politica energetica basata sulla cooperazione tra i diversi paesi e sulla definizione di un quadro legislativo comune di base che possa essere in grado di garantire risultati efficaci. A questo proposito, nel 2002 è stato definito il Libro Verde nel quale sono state fissate le linee guida per conciliare la richiesta energetica con il rispetto per l’ambiente attraverso:

- la riduzione della domanda di energia;
- il ricorso a fonti rinnovabili.

L’adozione di questa strategia ha condotto alla definizione della Direttiva Europea 2002/91/CE riguardante l’efficienza energetica degli edifici.

1.5 La problematica a livello Italiano

In Italia il problema è analogo: infatti il 44% del totale dei consumi energetici nazionali è dovuto al settore edilizio.

La quota dei consumi più elevata è dovuta al riscaldamento, che assorbe il 76% dell'energia del settore edilizio: è quindi questo il campo in cui bisogna intervenire con più efficacia.

La maggior parte dei consumi sono dovuti alla necessità di riscaldamento degli ambienti e, premesso che la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili risulta bassa per tutti i Paesi comunitari, l'Italia risulta essere tra i paesi europei con maggior consumo energetico. Se però si considera che il numero di abitanti varia notevolmente da paese a paese e che l'Italia è uno dei paesi più popolati dell'Unione europea; il consumo pro-capite, se confrontato con quello di altri paesi europei, risulta medio basso. Anzi tenendo conto che i consumi pro-capite italiani sono simili a quelli di alcuni paesi più freddi dell'Italia, come i Paesi Bassi o la Francia, ci si rende conto come l'Italia sia al di sopra della media Europea.

Nel contesto dell'unione europea, ciò ha costituito un nuovo quadro di riferimento per lo sviluppo di norme comunitarie legate al risparmio energetico, ai cambiamenti climatici ed alla gestione delle risorse ambientali ed energetiche.

Capitolo 2

Il contesto normativo nazionale ed internazionale

Introduzione:

Le principali norme comunitarie tuttora vigenti relative all'uso razionale dell'energia nel settore dell'edilizia sono:

- la Direttiva 92/42/ CEE ,
- la direttiva 89/106/ CEE,
- gli articoli inerenti agli edifici della direttiva 93/76/CE e
- la recente direttiva 2002/91/CE, riguardante il rendimento energetico e la certificazione energetica degli edifici e obbligatoriamente dagli stati membri entro il 4 gennaio 2006.

L'obiettivo è la valutazione della qualità degli edifici ad alta prestazione energetica attraverso un approccio scientifico

L'obiettivo della direttiva è promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne , nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi.

Le disposizioni in essa contenute prevedono che: in tutta l'Unione europea sia applicata comune per il calcolo del rendimento energetico di ogni edificio, tenendo conto delle condizioni climatiche locali;

gli stati membri devono stabilire gli standard minimi per il rendimento energetico da applicare ai nuovi edifici ed alle ristrutturazioni dei grandi edifici esistenti.

Molti di questi standard si baseranno su standard europei già esistenti o in via di adozione;

Nell'art. 2 della Direttiva 2002/91/CE si fa esplicito riferimento ad un "attestato del rendimento energetico di un edificio", attestato, che dovrà avere una validità non superiore ai 10 anni.

Il D. Lgs. n. 192/2005 però, considera le prestazioni dell'edificio solo dal punto di vista energetico e termico, e trascura quasi del tutto gli aspetti ambientali, che invece vengono considerati da analoga normativa di altri paesi.

2.1 La Direttiva 2002/91/CE

Il parlamento europeo ed il Consiglio sul rendimento energetico, hanno emanato il 16 Dicembre 2002 la direttiva 2002/91/CE nata dalla necessità di accelerare le azioni di risparmio energetico e ridurre la differenza tra i vari stati membri attraverso la definizione di un preciso quadro di riferimento normativo in modo da coordinare gli interventi nel settore edilizio. Al tempo stesso la norma ha però disposto che fossero i singoli stati membri a promulgare opportune disposizioni legislative e regolamenti in modo da consentire l'entrata in vigore della direttiva entro lo scorso 4 Gennaio 2006.

2.1.1 I principali contenuti della direttiva

La direttiva europea negli art. 3,4,5,6 definisce una metodologia comune finalizzata allo sviluppo di standard minimi di prestazione energetica che allo stesso tempo

possa essere applicata a diverse tipologie edilizie. Il metodo di calcolo utilizzato per ottenere la certificazione energetica è del tipo integrato; ossia tiene presente le differenze climatiche, la coibentazione della struttura, gli impianti sia per il riscaldamento che per il condizionamento, i sistemi di illuminazione e ventilazione, ed infine ma non meno importante, considera l'orientamento dell'edificio.

Nell'art. 7 viene poi introdotto l'attestato di certificazione energetica che, diventa necessario al momento della costruzione, della compravendita e della locazione di un immobile nuovo o esistente che esso sia.

Le principali novità della normativa riguardano l'attenzione verso il raffrescamento ed il condizionamento dell'aria, ed il ricorso ai principi di bioclimatica per ottenere il risparmio energetico. Non è invece una novità l'attestato di certificazione energetica visto che alcuni Stati Membri già applicavano regolamenti e norme volte al risparmio energetico, per cui lo scopo è quello di far convergere gli standard di costruzione verso quelli caratterizzati da una cultura e quindi una legislazione più evoluta.

2.2 La politica energetica italiana ed il suo contesto legislativo

La politica energetica italiana è sotto la responsabilità del ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. Le autorità regionali e comunali hanno però, specie con la nuova politica del decentramento, il ruolo principale di attuare i programmi di politica energetica. Molto importante è il ruolo rivestito dall'agenzia ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) nel settore della ricerca e nella diffusione delle tecnologie finalizzate all'efficienza energetica, all'utilizzo di fonti rinnovabili ed al rispetto dell'ambiente.

Già alla fine degli anni '70, in conseguenza della crisi petrolifera del 1973 l'Italia ha iniziato a rendersi conto della necessità di dotarsi di politiche di risparmio energetico al fine di non dipendere eccessivamente dalle importazioni petrolifere straniere, per cui, forte di tale sensibilità alle problematiche energetiche e ambientali ha iniziato ad emanare provvedimenti legislativi in materia sin dal 1976 (legge n°373 del 1976).

Nel 1991 con la legge 10/91 si chiarisce per la prima volta che il risparmio energetico è il minor consumo “a parità di servizio reso e di qualità della vita”, affermazione che delegittima tutta la legislazione precedente, provocandone quindi l’abrogazione. Infatti il minor consumo di combustibile ottenuto limitando il servizio non può essere definito risparmio energetico, ed inoltre l’utilizzo intermittente di alcuni tipi di impianti causa addirittura un aumento nei consumi.

2.3 Il D.P.R. 380/2001 e la l. 10/1991

La disciplina fondamentale in materia di risparmio energetico è contenuta anche nel Testo Unico sull’edilizia D.P.R. 380/2001, capo VI, parte II nonché nella l. 10/1991. A tale proposito , conviene ricordare che la disciplina trattata nella parte II del Testo Unico convive con la disciplina tecnica recata dalla normativa precedente, senza determinarne l’abrogazione. L’articolo 136 del D.P.R. 380/2001 indica espressamente le norme abrogate .

L’articolo 137 individua, invece le disposizioni che rimangono in vigore .

La doppia indicazione consente l’esatta determinazione della normativa applicabile

La questione è molto importante: come funzionano gli edifici dal punto di vista del consumo energetico.

Per risolvere questo problema l’Italia si sta dotando di strumenti legislativi ancora non del tutto completi

2.4 Dalla legge 10/91 al D. Lgs. n. 192/2005

La legge 10/91 (“Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale di energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”) richiede alle regioni di predisporre un piano regionale relativo all’uso delle fonti rinnovabili di energia;

prevede inoltre per gli edifici pubblici l'obbligo a far ricorso a fonti rinnovabili, qualora ne venga appurata la fattibilità tecnica ed economica; dichiara che gli edifici sia pubblici che privati, devono essere progettati in modo da contenere al massimo i consumi di energia termica ed elettrica introducendo così la valutazione del fabbisogno energetico per il riscaldamento degli edifici, effettuata mediante due parametri: FEN (Fabbisogno energetico normalizzato) e CD (Coefficiente di dispersione volumico) da confrontare con i rispettivi valori limite definiti dalla stessa legge.

Con l'art. 30 si è poi introdotta la certificazione energetica per la quale attraverso un decreto attuativo, che si sarebbe dovuto emanare entro tre mesi dalla legge 10/91, si sarebbe definita la modalità con cui operare; ma purtroppo ancora si attende questo decreto .

Il 19 agosto 2005 è stato approvato il decreto legislativo n°192 “ Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia “.

2.5 Il D. Lgs. 192/2005

La normativa fondamentale in materia di criteri per la progettazione di interventi di recupero e ristrutturazione è oggi contenuta nel D.lgs 192/2005, di attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

Il decreto aggiorna la legislazione vigente, con particolare riferimento alla l. 10/1991 e, quindi, anche alla disciplina contenuta nel Testo Unico sull'edilizia di cui al D.P.R. 380/2001.

Gli esatti ambiti di applicazione del decreto sono stati successivamente chiariti con la circolare n°8895 del 23 maggio 2006, emanata dal ministero per lo sviluppo economico.

Per il perseguimento delle finalità essenziali del risparmio energetico, il decreto:

- fissa livelli di isolamento termico degli edifici, sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni più elevati rispetto a quelli stabiliti dalla normativa precedente;
- promuove l'utilizzo di apparecchiature a maggior rendimento per gli impianti nuovi e ristrutturati, nonché per le nuove caldaie da installare in sostituzione delle precedenti;
- prevede una graduale applicazione della certificazione energetica degli edifici, rendendola obbligatoria per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni complete di edifici di notevole dimensione e volontaria in tutti gli altri casi;
- snellisce le procedure di accertamento ed ispezione a carico degli enti locali;
- rende efficaci le verifiche sugli impianti di riscaldamento da parte di Comuni e Province attraverso una selezione degli impianti cui, per motivi tecnici, è opportuno dedicare maggiore attenzione;
- individua le responsabilità professionali in merito alla conformità delle opere realizzate.

Il decreto disciplina :

- i criteri generali e le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici (nuovi o in ristrutturazione),
- l'applicazione dei requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici,
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione,
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti,
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali,
- la formazione e l'aggiornamento degli operatori di settore.

Il decreto ha recepito per intero la direttiva europea e prevede la certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione e degli edifici esistenti in caso di ristrutturazione con il limite inferiore di 1000 m² di superficie.

Il certificato comprende i dati relativi all'efficienza energetica propri dell'edificio, i valori di riferimento, sia quelli cogenti a norma di legge, in modo da consentire al cittadino di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'edificio.

L'attestato dovrà essere corredato da una serie di raccomandazioni, espresse in termini di costi-benefici per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici.

L'attestato dovrà essere chiaro e semplice. Ognuno dovrà essere in grado di recepire facilmente le informazioni contenute nell'attestato e di comparare certificati relativi ad edifici diversi.

Nel decreto si fa riferimento a norme attuative da emanarsi dopo 120 giorni dalla data di entrata in vigore del decreto, dove verranno definiti:

- i criteri generali, le metodologie di calcolo ed i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi energetici riferiti alla climatizzazione invernale ed estiva, alla produzione di acqua calda sanitaria e all'illuminazione (limitatamente al settore terziario)
- i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione degli esperti a cui affidare la certificazione energetica degli edifici.

Nel decreto sono indicati gli elementi climatici e le caratteristiche degli edifici e degli impianti tradizionali e utilizzanti fonti rinnovabili di cui occorre tenere conto nella definizione delle metodologie di calcolo e di espressione della prestazione energetica degli edifici.

In particolare la metodologia di calcolo del rendimento energetico dovrà considerare:

- il clima esterno ed interno;
- le caratteristiche termiche dell'edificio;

- l'impianto di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria;
- l'impianto di condizionamento dell'aria e di ventilazione;
- l'impianto di illuminazione
- la posizione e l'orientamento degli edifici
- i sistemi solari passivi e di protezione solare
- la ventilazione naturale
- l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, di sistemi di cogenerazione e di riscaldamento e condizionamento a distanza per gli edifici la cui metratura utile supera i 1000 metri quadrati.

In allegato al decreto sono indicati i valori limite per il fabbisogno di energia primaria e per le trasmittanze delle strutture opache e trasparenti costituenti l'involucro edilizio.

Il decreto legislativo n°192 di attuazione della direttiva 2002/91/CE , relativa al "rendimento" energetico nell'edilizia , introduce nuove verifiche per la progettazione e la costruzione di edifici. Le verifiche del CD e del FEN vengono abrogate e sostituite dai limiti sul fabbisogno energetico primario (FEP) o sulle trasmittanze dei componenti introdotti dal regime transitorio.

L'allegato I "Regime transitorio per la prestazione energetica degli edifici " propone, per gli edifici di nuova costruzione e in caso di ristrutturazione integrale degli elementi edilizi , costituenti l'involucro di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000m² ,o ampliamento dell'edificio del 20% del suo volume o di ristrutturazione o nuova installazione di impianti termici, il metodo seguente:

Si calcola il Fabbisogno Energetico Primario (FEP) per la climatizzazione invernale espresso in kwh/m² di superficie utile e deve essere minore ai valori riportati nella tabella 1 dell'allegato C.

Il FEP tiene conto della dispersione energetica dell'involucro, della ventilazione , degli apporti gratuiti e del rendimento globale medio stagionale degli impianti. Il fabbisogno energetico primario viene quindi relazionato alla superficie utile.

Ciononostante, l'allegato 1 dice nel comma 5 che in caso di edifici di nuova costruzione o, in caso di ristrutturazione integrale, se gli edifici e le opere sono progettati e realizzati nel rispetto dei limiti fissati ai commi 6, 7 e 8, e per gli impianti termici è assicurato un rendimento medio stagionale non inferiore al valore riportato al punto 5 dell'allegato C al presente decreto, il calcolo del FEP annuo può essere omissso, attribuendo all'edificio o porzione interessata il valore massimo applicabile al caso specifico ai sensi del comma 1 citato.

Quindi come si vede di seguito, questi limiti fissati ai commi 6,7e 8, che fanno riferimento alle trasmittanze dei componenti, devono essere inferiori ai limiti indicati nelle tabelle dell'allegato C.

Il D. Lgs. 192/2005 in particolare recepisce una normativa europea, la 2002/91 sull'*Energy Performance Buildings* che ha obbligato tutti i paesi della Comunità Europea a prendere provvedimenti in tema di risparmio energetico a partire dal 1° Gennaio 2006 .

L'Italia ha dovuto rivedere quindi in modo sostanziale la Legge 10/91 .

Il decreto fondamentalmente ha tre obiettivi

- migliorare le prestazioni energetiche degli edifici;
- valorizzare ed integrare le fonti rinnovabili dell'edificio;
- conseguire gli obiettivi proposti dal protocollo di Kyoto.

Le novità di questo decreto si riferiscono alla struttura stessa del decreto ed agli adempimenti differenziati per categorie a seconda della tipologia edilizia, a seconda che si tratti di nuova costruzione, ristrutturazione totale o parziale, o di sostituzione del generatore.

Inoltre sono state completamente modificate le metodologie di calcolo, rispetto alle precedenti Normative.

- Tra le Novità del decreto c'è la Certificazione Energetica anche se in realtà già con la Legge 10 del 1991 era prevista la Certificazione Energetica, ma i

suoi criteri erano stati demandati ad eventuali decreti che non sono mai usciti.

- Altra novità riguarda l'introduzione del FAEP che deve essere confrontato con i valori limite dettati dall'allegato e, che è funzione della zona climatica che è quella che era già stabilita dal DPR 412/93 ancora vigente
- Il calcolo e la verifica del CD ex Legge 10/91 è stato sostituito con la verifica dei valori della trasmittanza termica che deve essere inferiore a determinati valori.
- Non è più richiesta la verifica relativa al Fabbisogno Energetico Normalizzato, che dovrà comunque essere calcolato, ma non più confrontato con i valori limite.
- E' stata inoltre modificata l'espressione analitica per il calcolo del rendimento globale minimo obbligando così alla realizzazione di impianti molto più efficienti.

Inoltre la conformità delle opere realizzate rispetto al progetto e la relazione dovrà essere asseverata dal Direttore dei lavori e deve essere presentata al Comune di competenza contestualmente alla dichiarazione di Fine Lavori.

Una copia di questa relazione è conservata dal comune per eventuali accertamenti futuri.

Il comune infatti avvalendosi di esperti o di organismi esterni qualificati e indipendenti, definisce le modalità di controllo, accertamento ed ispezione in corso d'opera ma lo può fare anche entro cinque anni dalla fine dei lavori.

Lo stesso committente può richiedere al comune un'operazione di controllo e verifica sull'edificio, qualora ad esempio questi debba acquistare un nuovo immobile.

Gli allegati da presentare sono:

- piante di ciascun edificio con orientamento prevalente di ciascun locale
- prospetto e sezione degli edifici con eventuali sistemi di protezione solare che, con la nuova normativa, sono obbligatori per alcune zone climatiche,

- elaborati grafici relativi ad eventuali sistemi solari passivi che favoriscono lo sfruttamento degli apporti solari (per tutta l'edilizia pubblica in particolare, tali sistemi passivi sono obbligatori per una copertura minima del 50% di acqua calda sanitaria)
- bisogna allegare gli schemi funzionali dell'impianto termico
- le tabelle con l'indicazione delle caratteristiche termiche, termigrometriche, verifica della condensa interstiziale superficiale ed indicazione delle caratteristiche termiche degli infissi.

La certificazione energetica per gli edifici di nuova costruzione e' un vero e proprio certificato che deve essere redatto secondo i criteri dettati dal decreto. Tale certificato dovrà essere allegato al certificato di compravendita ed in caso di locazione deve essere messo a disposizione del conduttore.

In particolare il certificato deve contenere i dati relativi all'efficienza energetica dello specifico edificio ed i valori di riferimento che consentano all'utente di valutare l'effettiva prestazione dell'edificio stesso.

Tutto ciò perchè la volontà della Norma è di spingere un'acquirente che va a scegliere tra il parco immobiliare a preoccuparsi dei consumi degli edifici, tenendo conto del fatto che un aumento del costo di costruzione di soli 6-8%, verrà ammortizzato nell'arco di pochi anni (6-8 anni) e produrrà vantaggi notevoli negli anni successivi.

La normativa fa riferimento a come calcolare il contributo energetico durante il periodo invernale, ma non dice nulla su come calcolare la prestazione energetica durante il periodo estivo; però parlando di Certificazione Energetica, dice che questa deve considerare i dati relativi non solo al comportamento invernale ma, anche a quello estivo.

Il certificato avrà una validità di 10 anni a partire dal suo rilascio e deve essere aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione, se questo modifica parti sostanziali in termini di struttura e di impianto.

Gli edifici pubblici che hanno superficie superiore a 1000mq dovranno esporre la certificazione al pubblico.

Riguardo le sanzioni previste dal decreto:

- se un contratto di compravendita di un immobile non è corredato da Certificazione Energetica , il contratto potrebbe considerarsi nullo.
- Nel caso di locazione, se il locatario non ha a disposizione il certificato potrebbe chiedere la nullità del contratto.

Temporaneamente la certificazione energetica , può essere sostituita da un attestato di qualificazione energetica che può essere elaborato dal progettista o dal Direttore dei Lavori.

Questo attestato deve essere predisposto ed asseverato da un professionista abilitato alla professione e non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio.

Questo attestato deve riportare i fabbisogni dell'energia primaria di calcolo, cioè l'energia necessaria per riscaldare fondamentalmente durante la stagione invernale, la classe di appartenenza dell'edificio dell'unità immobiliare. In un futuro questo Attestato diventerà facoltativo e verrà predisposto a cura dell'interessato per semplificare il rilascio della futura Certificazione Energetica dell'edificio.

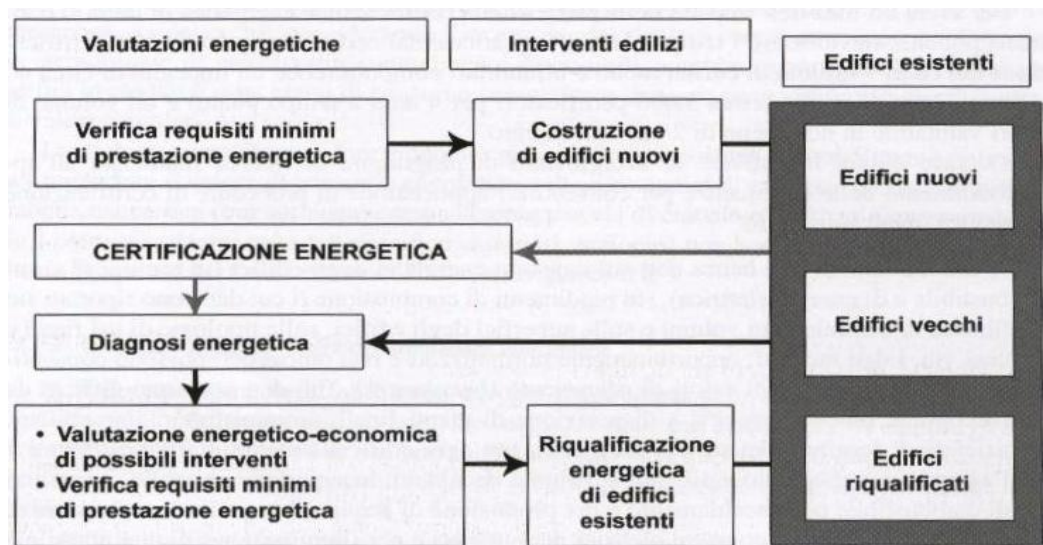
Nella realtà la situazione è ancora confusa, soltanto una parte dell'Italia, ed in particolare le province autonome di Bolzano e Trento hanno avuto ben chiare le idee sulla Certificazione Energetica adottando gli schemi delle Normative Europee e facendo riferimento a come avevano agito altri paesi prima di noi. Soltanto che questo certificato, fa riferimento al consumo dell'edificio in condizioni invernali e diversifica gli edifici dalla classe A alla G a seconda dei consumi invernali in kwh/(mq anno).

Ma il problema vero è che in un paese come l'Italia, dove l'irraggiamento è davvero alto, la climatizzazione estiva sta iniziando a prevalere su quella invernale

Il decreto in realtà vuole portare a valutare quanto consuma in totale l'edificio nell'arco dell'anno e non solo nel periodo invernale anche se al momento non c'è alcuna indicazione per i consumi dell'edificio nel periodo estivo e nessun valore limite con cui confrontarlo.

Tra le novità viene introdotto il FAEP o FEP (Fabbisogno Annuale di Energia Primaria), espresso in (KW h /m² anno), che fornisce un'idea di quanto consuma un edificio ed è il valore di riferimento per la Certificazione Energetica.

Viene abrogato il calcolo del CD, coefficiente di dispersione volumica, che viene completamente sostituito dall'obbligo del rispetto della trasmittanza termica, U, che deve stare al di sotto di valori specifici. La richiesta della verifica del FEN (Fabbisogno Energetico Normalizzato) non è più necessaria ed è stata completamente modificata l'espressione del calcolo del Rendimento Globale Minimo, obbligando di fatto, ad impianti ad altissima efficienza.



2.5.1 Gli ambiti di intervento

In particolare la normativa classifica alcuni ambiti di intervento

- 1) Vengono compresi:

- Edifici di nuova costruzione
- Ristrutturazione integrale di elementi edilizi dell'involucro di edifici esistenti con sup. utile > 1000mq
- Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con sup. utile > 100mq .
- Ampliamento di edificio esistente, volumetricamente superiore al 20% dell'edificio esistente (Applicazione al solo ampliamento).

Nel caso 1 le verifiche da effettuare sono:

- Fabbisogno di Energia Primaria < Fabbisogno di Energia Primaria LIMITE

Oppure

- Verificare il rispetto dei limiti sui componenti edilizi e che il Rendimento Globale Medio sia maggiore o uguale a quello limite.
 - In questo caso viene omessa la verifica del FEP ponendolo uguale a quello limite.
- 2) Comprende le ristrutturazioni totali o parziali e la manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio, con superficie utile inferiore a 1000 mq
- le verifiche da effettuare in questo caso riguardano i limiti sui componenti edilizi e quindi anche la verifica termoigrometrica in termini di condensa superficiale interstiziale.
- 3) comprende la nuova installazione o ristrutturazione integrale di impianti termici
- la verifica da effettuare è $FAEP < FAEP \text{ LIMITE} \text{ aumentato del } 50\%$
- 4) comprende la sostituzione di generatori di calore o la nuova installazione di impianti termici

Le verifiche da effettuare sono:

- Nuovi generatori con marcatura 3 o 4 stelle (Allegato II del D.P.R. 660/96)
- Temperatura media del fluido termovettore inferiore o uguale a 60°
- Presenza di apparecchiature per la termoregolazione

- Per potenze maggiori o uguali a 35 KW , il nuovo generatore NON deve essere più potente del 10% rispetto a quello sostituito

Oppure (solo nel caso della sostituzione di generatori)

- $FEP < FEP_{LIMITE}$
- Rendimento di Produzione Medio Stagionale sia maggiore o uguale a quello limite.

I valori limite sono riportati nell'Allegato C del Decreto.

In particolare la Normativa stabilisce che a seconda del rapporto di forma dell'edificio, ossia del rapporto Superficie/Volume, ed in base alla zona climatica di appartenenza dell'edificio, è possibile ricavare i valori limite.

In particolare sono presenti due colonne, una che riporta i valori limite a partire dal 1° Gennaio 2006 e l'altra i valori da rispettare a partire dal 1° Gennaio 2009 e nella revisione del decreto, è presente anche una terza colonna, relativa al 1° Gennaio 2010, ciò allo scopo di dare il tempo alla comunità di modificare le tecniche costruttive.

Le altre tabelle presenti nella Normativa riguardano le strutture orizzontali opache; riguardo invece quelle trasparenti ne abbiamo due: una riferita ai valori limite della Trasmittanza delle chiusure trasparenti comprensive di infissi, l'altra relativa ai valori limiti della Trasmittanza Centrale Termica dei vetri. Inoltre la Normativa dice che la Trasmittanza delle superfici opache deve essere confrontato con il valore della Trasmittanza Limite , e tale valore deve essere a Ponte Termico Corretto, ossia tale che la Trasmittanza della parete fittizia non supera per più del 15% la Trasmittanza della parete reale.

Se il ponte termico non è corretto il valore limite deve essere rispettato dalla Trasmittanza Media, ossia bisogna fare una media tra parete fittizia e parete corrente da verificare.

Ulteriori adempimenti sono previsti per gli edifici di Categoria E1 ossia per quelli appartenenti alle zone climatiche dalla C alla F, relativamente alla trasmittanza del

divisorio verticale tra gli alloggi e le unità immobiliari confinanti: tale divisorio deve avere un valore della trasmittanza minore di 0,8.

Altro adempimento riguarda l'Umidità Relativa Interna: che nei casi in cui si è impossibilitati a misurarla, viene imposta al 65%.

Inoltre ad esclusione delle categorie E5, E6 ed E8, per limitare il fabbisogno energetico di climatizzazione estiva e contenere il surriscaldamento dell'ambiente, bisogna verificare la presenza di schermatura delle superfici vetrate per ridurre l'apporto dovuto all'irraggiamento;

nelle zone climatiche più calde inoltre, ossia quelle che sono classificate dalla A alla D ed hanno un valore medio di insolazione di 250w/m^2 , il valore della massa superficiale deve essere maggiore di 230kg/m^2 .

2.6 La circolare 8865 del 23/5/2006

Con la circolare 8865 del 23/5/2006 il Ministero ha poi chiarito e precisato le modalità applicative di alcune disposizioni del decreto di attuazione del decreto 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. La circolare si propone di aiutare gli operatori ed i soggetti interessati ad interpretare la norma emanata ai fini di un' applicazione uniforme.

In essa vengono infatti sottolineati alcuni aspetti, che hanno portato a difformità di interpretazione, tra i quali le disposizioni previste nel regime transitorio e la certificazione energetica.

Relativamente al regime transitorio (Allegato I del D. Lgs. 192/2005) per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, il decreto prevede, per gli edifici di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazione integrale degli edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000m^2 , demolizione e ricostruzione, in manutenzione straordinaria, di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000m^2 ed ampliamento (tale che risulti volumetricamente superiore al 20% dell'edificio esistente), la possibilità di adottare due modalità di verifica alternative basate sul calcolo del fabbisogno annuo

di energia primaria e quello del calcolo della trasmittanza termica degli elementi costituenti l'edificio unitamente al rendimento energetico globale medio stagionale. Nel decreto è anche evidenziato che, se si rispettano i limiti di trasmittanza termica e si garantisce un rendimento medio stagionale dell'impianto termico, il calcolo dettagliato del fabbisogno può essere omesso attribuendo all'edificio il valore massimo ammesso dalla norma.

Un altro fondamentale chiarimento, fornito dalla circolare, riguarda l'applicazione della norma agli edifici adibiti ad attività industriali, artigiane ed assimilabili, precisando che tali edifici sono esentati dall'obbligo di rispetto dei limiti delle trasmittanze termiche in caso di intervento parziale. È inoltre previsto che per tale tipologia di edifici venga adottato il metodo del fabbisogno annuo di energia primaria e, in alternativa a questo, possa essere applicato volontariamente il metodo delle trasmittanze termiche.

Per ciò che riguarda la certificazione energetica degli edifici è prevista una graduale applicazione: obbligatoria per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni complete di edifici di notevole dimensione, e volontaria in tutti gli altri casi.

Il decreto infatti intende promuovere una certificazione energetica su base volontaria, da realizzare attraverso metodi semplificati a basso costo che saranno definiti nelle linee guida nazionali.

Lo spirito della norma è quello di imporre una corretta progettazione e realizzazione delle nuove opere, senza tuttavia aggravare gli operatori ed i cittadini, costringendoli a rimettere mano a cose già completate o in corso di completamento, dove per edifici di nuova costruzione si intende un edificio per il quale la richiesta del permesso di costruire o la denuncia di inizio attività, comunque denominata, sia stata presentata successivamente alla data di entrata in vigore del Decreto (8 ottobre 2005), una sostanziale variante in corso d'opera può essere considerata una ristrutturazione, totale o parziale, o un intervento di manutenzione straordinaria su un edificio

esistente. In tal caso la relazione tecnica dovrà essere coerente con le nuove norme , ma solo relativamente a quanto sostanzialmente modificato.

2.7 Il D. Lgs. 311 del 29/12/2006

A più di un anno e mezzo di distanza dall'emanazione del D. Lgs. 192/2005, quando ormai erano attesi i decreti attuativi ed i criteri generali per la certificazione energetica, è stato invece emanato il D. Lgs. 311/06 recante "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 Agosto 2005, n°192" tramite il quale vengono apportate delle modifiche alle prescrizioni già presenti nel primo decreto, soprattutto a quelle inerenti i requisiti minimi in materia di prestazione energetica degli edifici.

Per gli edifici di nuova costruzione viene introdotta l'obbligatorietà dell'attestato di qualificazione energetica da presentare al Comune contestualmente alla direzione di fine lavori.

Per gli edifici esistenti viene imposto l'obbligo della certificazione energetica al momento della vendita dell'immobile, con tre soglie temporali:

- a decorrere dal 1 luglio 2007 per gli edifici con superficie utile superiore ai 1000 mq;
- a decorrere dal 1 luglio 2008 per gli edifici con superficie utile inferiore ai 1000 mq in caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile con l'esclusione delle singole unità immobiliari;
- a decorrere dal 1 luglio 2009 per le singole unità immobiliari.

Va sottolineato come anche questo decreto mantiene la verifica del solo fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale, senza introdurre la verifica del fabbisogno energetico estivo nonostante nella direttiva europea si faccia esplicito riferimento alla "crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell'aria nei paesi del Sud dell'Europa per cui dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento termico degli edifici nel periodo estivo".

Il nuovo decreto rinvia dunque la definizione delle procedure per la certificazione energetica, ma rinnova la definizione di requisiti energetici minimi cogenti, in particolare nell'allegato C propone nuovi valori di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, operando una separazione tra valori di riferimento degli edifici residenziali e per tutti gli altri edifici e dando tre soglie temporali (2006, 2008, 2010) di entrata in vigore di valori via via più restrittivi.

Per gli edifici residenziali i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale sono espressi in $\text{kWh}/\text{m}^2\text{annomtr}$ per tutti gli altri edifici i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale sono espressi in $\text{kWh}/\text{m}^3\text{anno}$, visto che l'interpiano può essere notevolmente differente tra un edificio e l'altro.

Anche per i valori limite delle trasmittanze termiche vengono introdotte le tre soglie temporali del 2006, 2009, 2010 con valori molto restrittivi riguardanti i valori limite di trasmittanza termica delle coperture, visto che queste sono la superficie dell'involucro maggiormente esposta alla radiazione solare estiva, per cui un isolamento elevato migliora le condizioni di comfort all'ultimo piano abitabile.

La questione del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva viene affondata senza una verifica specifica dei fabbisogni, ma tramite l'imposizione, sia nel caso di edifici di nuova costruzione, sia nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti, di alcune "buone pratiche", senza verifiche sulla efficacia a livello di sistema edificio.

Infatti viene richiesto

- di valutare l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate al fine di ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare ;
- di favorire attraverso la distribuzione degli spazi, la ventilazione naturale, oppure di prevedere sistemi di ventilazione meccanica
- di verificare, in tutte le zone climatiche, ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale , nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 w/mq ,

e che il valore della massa superficiale M_s delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a 230kg/mq.

2.8 Criteri per la progettazione

1) Incidenza a geometria variabile negli interventi di recupero

La normativa in materia di risparmio energetico nel caso di recuperi o ristrutturazione di edifici esistenti è applicabile secondo uno schema che si può definire a geometria variabile poiché l'adeguamento alla disciplina deve avvenire nella misura massima consentita dall'entità e dalla natura dell'intervento (articolo 122, comma 2, D.P.R. 380/2001 e D. Lgs. 192/2005).

2) Le tecniche da applicare nella progettazione di nuovi edifici pubblici e privati(D.P.R. 380/2001 e D. Lgs. 192/2005)

La progettazione degli edifici deve essere conforme alle prescrizioni vigenti e alle condizioni tecniche che consentono di ottenere i consumi di energia tecnica ed elettrica (articolo 123, comma 3, D.P.R. 380/2001). La disposizione esprime una direttiva di carattere generale che, impone ai progettisti di attenersi ai criteri che, secondo le conoscenze tecniche acquisite al momento in cui la progettazione viene redatta, consentano il maggior risparmio energetico.

3) Risparmio energetico ed edifici pubblici o di uso pubblico

Gli edifici di proprietà pubblica e privata , se adibiti ad uso pubblico , sono soggetti alla disciplina per essi specificamente disposta. In particolare per queste strutture il fabbisogno energetico deve essere obbligatoriamente soddisfatto mediante il ricorso alle fonti rinnovabili di energia o a quelle a esse assimilate , ameno che non ricorrano impedimenti di natura tecnico o economica. Il ricorso alle fonti rinnovabili di energia e a quelle a esse

assimilate riguarda non solamente i nuovi edifici, ma anche quelli esistenti, con la conseguente necessità del loro adeguamento.

4) Quando è obbligatoria la progettazione secondo i criteri del D. Lgs. 192/2005

La disciplina del D. Lgs. 192/2005 si applica, oltre che alle nuove costruzioni, anche alle ristrutturazioni degli edifici esistenti, nonché al rifacimento degli impianti termici ed alle sostituzioni dei generatori di calore. I vincoli e gli oneri sono in funzione dell'importanza degli interventi previsti, in particolare:

- *nella ristrutturazione degli edifici esistenti*, è disposta un'applicazione integrale a tutto l'edificio nel caso di ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000 m². La circolare specifica che ricorre questa ipotesi in caso di ristrutturazione integrale "di tutti gli elementi edilizi" costituenti l'involucro di superficie utile superiore a 1000 m²;
- *nell'ampliamento di edifici esistenti*, è prevista un'applicazione limitata al solo ampliamento nel caso che lo stesso risulti volumetricamente superiore al 20% dell'intero edificio esistente, con la specificazione che l'applicazione della disciplina si intende integrale, cioè comprensiva del calcolo del fabbisogno globale di energia, anche se limitata alla parte di edificio nuova, quando questa sia volumetricamente superiore al 20% della parte preesistente.
- *negli ampliamenti di volumetria inferiore al 20% dell'edificio esistente*, invece gli obblighi di legge saranno limitati al rispetto di specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni relativamente agli elementi edilizi ed impiantistici su cui si interviene, con

esclusione della necessità di procedere al calcolo del fabbisogno globale;

- *nell'esecuzione di opere minori*, consistenti nella sostituzione anche parziale dei serramenti, nel rifacimento delle pareti esterne, del tetto o dell'impermeabilizzazione della copertura. Sarà necessario verificare che il risparmio energetico richiesto possa conseguire e quindi rispettare gli specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni posti dal decreto.

5) *Installazione o ristrutturazione integrale degli impianti termici (Allegato I, comma 3, D. Lgs. 192/2005)*

Nel caso di nuova installazione o ristrutturazione integrale di impianti termici, è necessario effettuare il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio, per stimolare una diagnosi energetica completa e la realizzazione, se necessario, degli interventi correttivi energeticamente rilevanti ed economicamente convenienti, senza tuttavia costringere gli interessati a ristrutturare tutto l'edificio. Il decreto consente, infatti, valori decisamente superiori a quelli previsti per le nuove realizzazioni edilizie.

6) *La sostituzione dei generatori di calore (Allegato 1, comma 4, D. Lgs. 192/2005)*

Nel caso di semplice sostituzione del generatore di calore, con installazione di un nuovo impianto di potenza non superiore al 10% del preesistente, gli adempimenti sono semplificati e circoscritti all'adozione di generatori di qualità e di adeguati sistemi di termoregolazione.

7) *Da quando è operante la disciplina contenuta nel D. Lgs. 192/2005*

Il D. Lgs. 192/2005 è in vigore dall' 8 ottobre 2005. Anche la disciplina transitoria contenuta al titolo II è esecutiva e pienamente applicabile senza attendere l'emanazione dei provvedimenti previsti dall'articolo 4 del decreto. L'eventuale mancata o ritardata emanazione di questi provvedimenti

potrebbe influire solo su aspetti che non risultino già definiti compiutamente dal decreto né da altra legislazione vigente come, la certificazione energetica degli edifici o la valutazione e certificazione degli impianti di climatizzazione estiva. Anche in questo caso tuttavia, l'eventuale mancanza della disciplina attuativa nazionale potrebbe essere superata dalla normativa adottata dalle singole regioni e province autonome.

8) *I permessi di costruire presentati prima dell'8 ottobre 2005 (D. Lgs. 192/2005)*

L'edificio per il quale la richiesta di permesso di costruire sia stata presentata anteriormente alla data di entrata in vigore del decreto legislativo, va considerato, ai fini del decreto, come edificio esistente, indipendentemente dal grado di avanzamento dei lavori, che possono quindi essere completati secondo il progetto iniziale, redatto sulla base della prevedente normativa. Nel caso in cui, successivamente all'8 ottobre 2005, venga apportata una variante al progetto in corso d'opera di natura sostanziale, ai fini della determinazione della disciplina energetica applicabile, la stessa andrà assoggettata alla disciplina dettata dal decreto, con riferimento alle ristrutturazioni, totali o parziali, o agli interventi di manutenzione straordinaria su un edificio esistente, assumendo a riferimento la rilevanza e l'estensione delle modifiche che si intendono apportate rispetto al progetto originario. L'obbligatorietà del rispetto della nuova disciplina sarà circoscritta a quanto risulti sostanzialmente modificato rispetto al progetto originario.

9) *I livelli minimi di rendimento della combustione (Allegato L commi 4,5 e 6, D.Lgs. 192/2005)*

I livelli minimi di rendimento della combustione sono validi soltanto per le verifiche effettuate sui generatori di calore installato a partire dall'entrata in vigore del decreto, mentre, per quelli installati precedentemente, valgono i

valori riportati all'articolo 11, comma 14, D. P. R. 412/1993, e relativo allegato E.

10) Gli apparecchi che non debbono essere considerati nel calcolo della potenza nominale (Allegato A, comma 12, D. Lgs. 192/2005)

Nel calcolo delle potenze nominali del focolare e degli apparecchi al servizio della singola unità immobiliare si deve tener conto degli apparecchi fissi, alimentati a energia elettrica o combustibile liquido o gassoso e dotati, dal costruttore, dei necessari dati di targa fra cui l'obbligatorio valore della potenza nominale del focolare. Sono esclusi dal computo anche gli apparecchi portatili di emergenza che in quanto tali, non sono destinati "al servizio di una specifica unità immobiliare", e gli apparecchi destinati alla sola produzione di acqua calda sanitaria per uso familiare.

11) I requisiti minimi di risparmio energetico negli edifici da ristrutturare (D.M. 27 luglio 2005)

Il decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 27 luglio 2005 definisce numerosi criteri ai quali il progettista deve attenersi nella realizzazione di nuovi edifici a destinazione residenziale (articoli 3 e 4). Con riferimento alla ristrutturazione ed al recupero degli edifici esistenti, si limita invece a definire gli interventi di maggiore entità, al fine dell'ottenimento di agevolazioni e contributi (articolo 9). Si ritiene tuttavia, che le prescrizioni disposte con riferimento alla nuova edificazione siano comunque applicabili anche alle ristrutturazioni in virtù dei principi contenuti nel D.P.R. 380/2001 e nel D. Lgs. 192/2005, che esigono l'adeguamento alla disciplina in materia di risparmio energetico nei limiti in cui siano compatibili con l'entità dell'intervento. Allo scopo, il decreto considera, a titolo esemplificativo e non esaustivo "intervento di adeguamento importanti" la ristrutturazione della copertura dell'edificio, il rifacimento dei solai, la ristrutturazione delle pareti esterne dell'edificio,

l'aumento delle superficie trasparenti, la sostituzione delle parti esterne trasparenti (finestre, porte, ecc...), la sostituzione della parte impiantistica riguardante la generazione del calore, il rifacimento dell'impianto di distribuzione (rete di distribuzione e corpi scaldanti) gli ampliamenti e le sopraelevazioni dell'unità immobiliare, l'installazione di sistemi di ventilazione, l'ottimizzazione dell'illuminamento interno dell'edificio, l'installazione di pannelli solari o pompe di calore. Il decreto prescrive che il progettista dovrà in ogni caso inserire le verifiche compiute nella relazione che il proprietario dell'edificio deve depositare presso le amministrazioni competenti, in duplice copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori in base alla legge 10/1991.

2.9 Adempimenti prima della fine dei lavori

1) Incidenza a geometria variabile negli interventi di recupero

Al momento non sono stati emanati i decreti attuativi del D. Lgs. 192/2005, che avrebbero dovuto stabilire le modalità per il rilascio della certificazione energetica degli edifici.

La certificazione sarebbe dovuta divenire obbligatoria a seguito del decorso di un anno dalla sua entrata in vigore , e quindi dall'8 ottobre 2006 . La certificazione è prescritta tanto con riferimento alle nuove costruzioni, quanto alle ristrutturazioni . Nella certificazione devono essere contenute le informazioni relative alla prestazione e al fabbisogno energetico dell'edificio . Il documento è valido 10 anni e deve accompagnare gli atti di compravendita e, in caso di locazione , deve essere messo a disposizione del locatario (articolo 6 , D. Lgs. 192/2005).

2) Senza agibilità i recuperi non eco-compatibili

La mancata osservanza della normativa in materia di risparmio energetico impedisce il rilascio del certificato di agibilità. Questo certificato deve

attestare la sussistenza, tra l'altro, anche delle condizioni di risparmio energetico degli edifici e degli impianti in essi installati (articolo 24, comma 1 D.P.R. 380/2001). Ne consegue che l'inosservanza della normativa energetica determinerà l'impossibilità di certificazione e quindi l'obbligo di adeguamento delle ristrutturazioni realizzate.

Capitolo 3

Il contesto europeo e mondiale

3.1 Tipologie di certificazione

Negli ultimi anni sono stati messi a punto sistemi di certificazione energetica che hanno lo scopo di definire la prestazione degli edifici durante tutto il loro ciclo di vita. I sistemi che ad oggi sono stati messi a punto hanno lo scopo di estendere la certificazione a tutte le tipologie edilizie. L'obiettivo è quello di raggiungere una maggiore sostenibilità nel settore edilizio considerando:

- il consumo delle risorse (energia, acqua, territorio);
- i carichi ambientali prodotti (emissioni inquinanti, impatto sul territorio);
- la qualità ambientale (comfort);
- la qualità del servizio (flessibilità, controllabilità).

A seconda degli aspetti presi in considerazione, possiamo distinguere i metodi per la valutazione e la certificazione della qualità energetica, da quelli che oltre agli aspetti energetici, considerano anche quelli ambientali.

Riguardo i metodi di valutazione del livello di sostenibilità ambientale si hanno

- strumenti che consentono di scegliere i materiali da costruzione in funzione di fattori ambientali ed economici (MRPI)

- strumenti che consentono di valutare l'impatto ambientale, i consumi energetici ed i costi di un intero edificio effettuando un confronto tra diverse soluzioni (Eco- Quantum)
- strumenti che adottano un approccio olistico in quanto considerano tutti gli aspetti che influenzano le fasi di realizzazione dell'edificio (GB Tool, BREEAM, LEED).

Invece riguardo i metodi sviluppati per effettuare una certificazione esclusivamente energetica degli edifici, si possono distinguere tre categorie

- **METODI A PUNTEGGIO:** che si applicano alle case unifamiliari ed ai piccoli edifici residenziali per i quali non è economico effettuare calcoli dettagliati. Questi metodi analizzano solo il livello dell'isolamento, il tipo di vetro, il tipo di impianti di riscaldamento, ecc...Per ogni scelta tecnica corrisponde un punteggio e, è possibile così ottenere una stima in funzione del numero complessivo di punti raggiunto.
- **METODI DI CALCOLO SEMPLIFICATI:** che permettono di stimare mensilmente i carichi energetici dovuti al riscaldamento degli ambienti effettuando una media tra le perdite e gli apporti di calore. Sono metodi che non consentono però di valutare in maniera precisa il comportamento dinamico degli edifici, per cui vengono utilizzati principalmente per gli edifici a basso consumo energetico, per i quali gli apporti solari danno un importante contributo al riscaldamento degli ambienti.
- **METODI DI SIMULAZIONE DINAMICA:** che considerano il comportamento dinamico dell'edificio, prendendo in esame l'utilizzo dell'energia solare nel tempo. Per cui sono metodi più precisi, che richiedono una precisa valutazione dei contributi relativi al riscaldamento ed al raffrescamento. Forniscono il profilo annuale delle temperature e consentono di integrare le diverse tecniche energetiche.

3.2 L'esperienza danese

3.2.1 La politica energetica in Danimarca

La **Danimarca**, è stata tra i primi paesi europei ad aver considerato la verifica energetica degli edifici come un importante mezzo per il risparmio energetico. Vanta in merito un'esperienza quasi ventennale tanto che la metà degli edifici danesi risulta verificata. Inizialmente la certificazione era applicata solo alle case mono e bi-familiari ed era associata agli incentivi per il risparmio energetico.

Nel 1984, la certificazione energetica è diventata obbligatoria in caso di vendita dell'abitazione.

Nel 1996 è stato pubblicato dal governo il Piano Energetico ENERGY 21 avente come obiettivo la promozione del concetto di sviluppo sostenibile nella società.

Da questo piano energetico è scaturita una legge sulla certificazione energetica (Act 1-1-97) che diventa obbligatoria per tutti gli edifici, sia di nuova costruzione che esistenti, per cui gli stessi sono classificati in funzione della loro superficie.

La certificazione energetica degli edifici è regolamentata dalla legge nazionale del 1996 "Act to promote energy and water savings in buildings", che definisce le regole per la certificazione energetica di piccoli edifici, la gestione energetica di grandi edifici, regole specifiche per edifici pubblici e regole per la manutenzione dei sistemi di riscaldamento e delle altre apparecchiature installate che hanno un alto consumo energetico.

3.2.2 Lo schema di certificazione ELO

Lo schema ELO di certificazione introdotto nel 1997 considera una classificazione secondo una scala che va da A ad M ; così per un edificio multi-familiare il consumo

per il riscaldamento non deve superare i 71 kWh/m^2 per avere una certificazione di classe A, se invece supera i 200 kWh/m^2 ricadrà nella categoria M.

In accordo con la legge, lo schema ELO è obbligatorio per tutti gli edifici avente una superficie superiore a 1500 m^2 al fine di ottenere un certificato energetico annuale in cui il consumo relativo al riscaldamento è corretto annualmente secondo le condizioni climatiche ed è normalizzato su base annua usando i gradi-giorno. I calcoli necessari alla certificazione sono effettuati usando il software ELO PC, uno strumento obbligatorio usato da tutti i consulenti autorizzati ELO per calcolare e stampare le certificazioni energetiche. La certificazione viene effettuata a carico del proprietario; ma i costi specie per alcune tipologie di grandi edifici, sono fissati dall'Autorità danese.

3.2.3. Lo schema di certificazione EM

E' lo schema di certificazione per i piccoli edifici, applicato in caso di vendita di edifici nuovi ed esistenti aventi una superficie netta inferiore a 1500 m^2 e destinati ad istituzioni pubbliche. Generalmente sono certificati secondo lo schema EM le case unifamiliari e gli appartamenti. Il certificato energetico è costituito da una pagina contenente una stima energetica standard dell'edificio ed informazioni relative all'attuale stato degli impianti di riscaldamento, elettrico e di distribuzione dell'acqua ed il conseguente quantitativo di CO_2 emesso. I risultati sono confrontati con quelli relativi ad altri edifici simili a quello in esame in termini di numero di abitanti e, il consumo calcolato è introdotto in una scala che va da A1 a C5

3.2.4 Confronto tra gli schemi di certificazione energetica danesi e la Direttiva europea

Gli schemi adottati in Danimarca hanno ispirato la nuova Direttiva Europea sulle prestazioni energetiche degli edifici (2002/91/CE).

In realtà però gli schemi danesi non considerano tutti gli aspetti previsti dalla direttiva. La direttiva impone infatti dei requisiti minimi differenti dalla normativa danese ed in particolare si evidenziano:

- Che il limite dell'area netta degli edifici soggetti a certificazione che secondo la direttiva europea è di 1.000 m² mentre gli schemi danesi ne considerano 1.500 m²;
- Che il periodo di validità della certificazione per grandi edifici che per la direttiva europea è fissato in 10 anni mentre per gli schemi danesi varia tra tre ed un anno;
- Che mentre la direttiva europea considera solo il consumo energetico dovuto al riscaldamento degli ambienti, la certificazione danese include anche i contributi dovuti all'elettricità ed al consumo dell'acqua;

3.3 L'esperienza britannica

3.3.1 La politica energetica nel Regno Unito

Il regno unito sin dagli anni settanta si è dotato di un valido programma di efficienza energetica. L'evoluzione del programma energetico britannico è la seguente:

- nel 1992 è stata introdotta la *Standard Assessment Procedure (SAP)*, una procedura standard che consente di effettuare una stima dell'efficienza energetica considerando il contributo dovuto al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e degli ambienti. Questo schema è diventato obbligatorio nel 1995 per tutti i nuovi edifici e per gli edifici esistenti oggetto di grandi ristrutturazioni
- gli edifici commerciali sono invece certificati utilizzando il metodo *BREAM (Building Research Establishment Environmental)*, applicato sin dal 1991 volontariamente. Consente di valutare l'impatto ambientale di svariate

tipologie edilizie (dai nuovi uffici, a quelli esistenti, i supermercati oltre che a nuovi edifici industriali e nuove abitazioni).

- Nel 1995 è stata poi definita la legge "Home Energy Conservation Act" secondo la quale tutte le autorità locali devono definire delle misure per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici di loro competenza.
- Il successivo Best Practice Programme garantisce il regolare controllo delle caldaie
- I nuovi regolamenti Edilizi Britannici sono entrati in vigore dal 1 aprile 2002 in sostituzione di quelli del 1995; in essi sono stati introdotti nuovi requisiti affinché sia gli edifici nuovi che quelli esistenti possano essere più efficienti.

3.3.2 La procedura standard per la stima energetica degli edifici

Lo schema SAP (Standard Assessment Procedure) consente di determinare una stima del consumo energetico (SAP) ed un indice di carbone (CI) basato sulla quantità di CO² emessa.

I fattori considerati per calcolare l'efficienza energetica di un edificio sono:

- l'isolamento termico dell'edificio;
- l'efficienza ed il controllo dei sistemi di riscaldamento;
- le caratteristiche di ventilazione dell'edificio;
- le caratteristiche degli apporti solari all'edificio;
- il combustibile utilizzato per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua.

Il calcolo è basato sul costo dell'energia richiesta in un anno per il riscaldamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria, le formule utilizzate sono:

- $SAP = 97 - 100 \cdot \log_{10}(ECF)$
- $CI = 17.7 - 9.0 \cdot \log_{10}(CF)$

Dove ECF è il fattore del costo energetico e CF è il fattore di carbone calcolato utilizzando l'equazione: $CF = CO^2 / (TFA + 45)$

CO^2 = è la quantità di CO^2 espressa in kg/anno

TFA = è la superficie totale espressa in mq

3.3.3 Il metodo di valutazione ambientale Breeam

E' il primo strumento per la valutazione della qualità ambientale degli edifici ad essere stato disponibile sul mercato.

Esamina:

- la gestione;
- l'uso dell'energia;
- il benessere ed il comfort;
- l'inquinamento;
- i trasporti;
- l'utilizzo del terreno;
- l'ecologia;
- i materiali;
- l'acqua.

Per cui i benefici riguardano sia la sfera ambientale che quella finanziaria. L'edificio è valutato in base ad una serie di criteri, ai quali corrispondono dei punti in funzione delle prestazioni dell'organismo edilizio.

Il punteggio complessivo viene calcolato effettuando una media pesata dei crediti delle singole problematiche.

Dal 2000 si ha a disposizione di una versione aggiornata del BREEAM, chiamata EcoHomes, versione specifica per gli edifici residenziali, di nuova realizzazione ed in ristrutturazione oltre che per gli appartamenti.

Eco-Homes considera i fattori ambientali relativi al cambiamento del clima ed esprime le prestazioni ambientali su una scala di valutazione che va da “Basso” ad “Eccellente” ed associa alla valutazione un numero di girasoli che va da 1 a 4. Sommando i punti ottenuti dalla valutazione di ogni singolo settore, si ottiene il punteggio complessivo che sarà normalizzato sulla base dei punti massimi ottenibili (192).

L'accertamento che viene eseguito da tecnici abilitati viene eseguito in tre fasi:

- Accertamento del capitolato: infatti molti problemi possono essere stimati attraverso un capitolato generale.
- Accertamento delle tipologie di edificio: poiché alcuni problemi possono essere stimati una volta per tutte per ogni tipologia di edificio.
- Accertamento di sviluppo: questo stadio, copre tutti i problemi rimasti, come il valore ecologico del sito e del trasporto.

3.4 L'esperienza francese

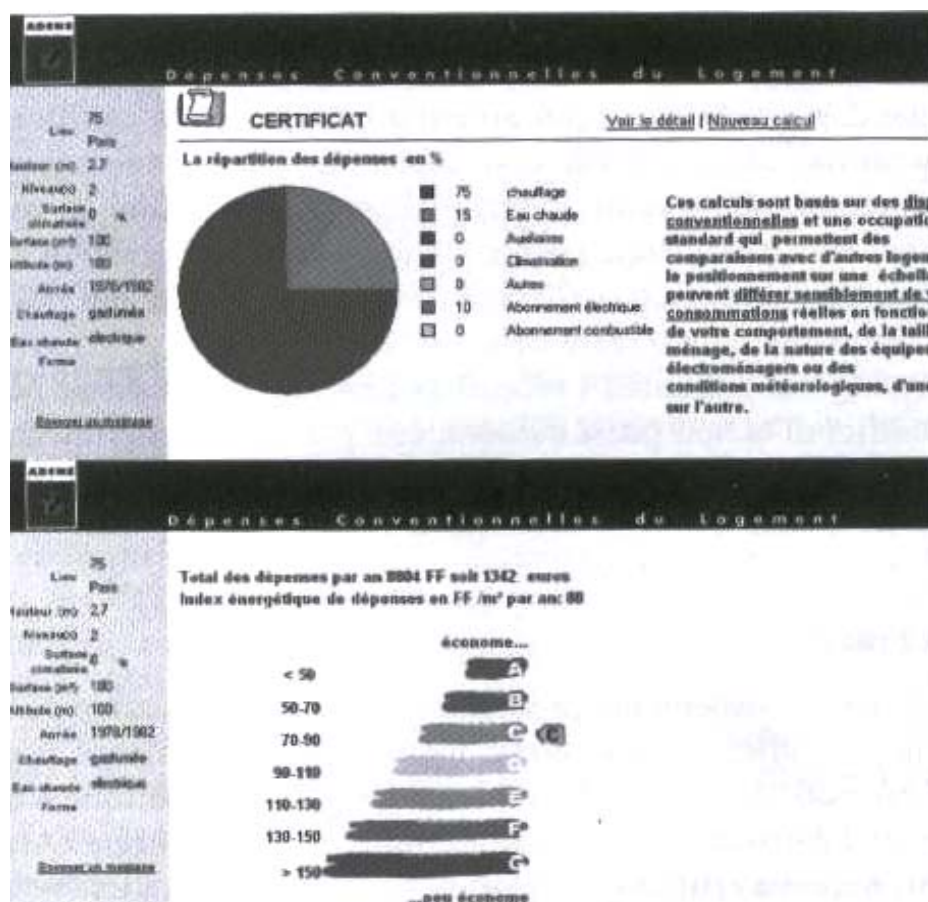
3.4.1 Le politiche energetiche ed il contesto legislativo

La politica energetica e sull'efficienza energetica in Francia sono gestite dal Ministro dell'Industria e dal Ministro per la Pianificazione del territorio e dell'ambiente e, il principale organo esecutivo è l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) è il principale organo esecutivo nel settore dell'efficienza energetica.

I principali programmi di politica energetica nel settore residenziale e commerciale possono essere così sintetizzati:

- l'introduzione nel 1983 del certificato obbligatorio HPE (Haute Performance Energetique) per tutti gli edifici residenziali del settore pubblico aventi più di 25 unità;

- la previsione per i nuovi edifici , sin dal 1974, di valori minimi di prestazioni termiche, poi, rivalutati per la prima volta nel 1988, e che hanno assunto la forma attuale nel 2000.
- L'organizzazione ADEME, insieme all'Association of air Conditioning, Ventilating and Cooling Engineers, ha messo a punto una serie di guide per progettisti in modo da fornire un supporto per la progettazione di edifici più efficienti dal punto di vista energetico;
- Nel 1997 sono state introdotte nuove regolamentazioni per gli edifici residenziali e per tutti quegli edifici commerciali ancora sprovvisti di sistemi di condizionamento dell'aria.



3.4.2 Il regolamento termico RT 2000

Il regolamento termico ha subito diverse evoluzioni nel tempo fino al 2000 in cui si applica a tutti gli edifici per i quali il permesso di costruzione è stato rilasciato dopo il 1 giugno 2001.

La novità principale di questo regolamento è l'introduzione di un livello di prestazione globale che tenga conto anche dell'isolamento, del sistema di riscaldamento, della ventilazione, ecc...L'analisi energetica è eseguita sull'intero anno, valutando per ogni mese i bisogni ed i consumi energetici per il riscaldamento degli ambienti.

Un edificio per essere conforme al regolamento RT2000 deve contemporaneamente soddisfare tre requisiti:

- il consumo annuale convenzionale deve essere inferiore o uguale al consumo di energia di riferimento calcolato a partire dalle condizioni termiche di riferimento. $C_{bat} < C_{ref}$
- La massima temperatura interna estiva deve essere inferiore o uguale a quella di riferimento calcolata a partire dalle caratteristiche termiche di riferimento. $T_{i-bat} < t_{i-ref}$ per edifici non climatizzati
- Le caratteristiche dell'isolamento termico delle pareti e dei sistemi di riscaldamento, di ventilazione, di produzione di acqua calda sanitaria, di climatizzazione ed i sistemi di ombreggiamento (parapetti) devono avere delle prestazioni minime. $U < U_{max}$

L'obiettivo del regolamento è di essere contemporaneamente comprensibile e facilmente applicabile.

3.4.3 Il Certificato energetico HPE

E' stato definito attraverso l'ordinanza del 18 Dicembre 2003, e si distinguono due differenti livelli di prestazione corrispondenti ad un consumo convenzionale di energia

- inferiore a 8% del consumo convenzionale di riferimento definito dall'ordinanza del 2000 ed in tal caso il certificato viene chiamato *Label haute performance energetique HPE 2000*
- inferiore al 15% del consumo convenzionale di riferimento definito dall'ordinanza del 2000; in tal caso il certificato viene chiamato *Label tres haute performance energetique, THPE 2000*

3.5. L'esperienza tedesca

3.5.1 La politica energetica tedesca

A livello federale, la politica energetica è regolamentata dal Ministro Federale dell'Economia. Sin dal 1995 la prestazione energetica dei nuovi edifici è stata introdotta in un documento prescritto dalla legge, ma fino al 2002 si è considerato soltanto il riscaldamento degli edifici che è stato considerato in un certificato denominato "*Warmebedarfsausweis*". Soltanto da poco tempo è stato introdotto anche il calcolo dell'energia primaria necessaria per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua calda sanitaria, ed è stato riportato nel "*Energiebedarfsausweis*"

Il sistema ad oggi in vigore, è stato sperimentato in 30 comuni e prevede due metodi di certificazione energetica: uno più esteso ed uno semplificato.

Il metodo esteso include un'analisi delle prestazioni energetiche di tutti gli elementi edilizi (tetto, pareti, finestre) e conferisce un quadro dettagliato dello stato in cui si trova l'immobile. Il metodo è consigliato soprattutto nei casi in cui sono previsti degli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche.

Il metodo semplificato si basa invece sugli indici energetici delle singole tipologie architettoniche ed edilizie ed è consigliato in quei casi in cui i dati dell'edificio sono insufficienti o quando un risanamento edilizio è già avvenuto.

Da ormai diversi anni, già dal 1992, la giunta comunale di Francoforte ha introdotto il "Frankfurter Energie-Pab", un procedimento parametrico per la determinazione del consumo energetico delle abitazioni.

Partendo da prefissati valori di utilizzo e nel quadro delle prescrizioni normative, vengono determinati valori di energia espressi in KWh/m^2 anno, specifici per ogni tipologia di edificio. Solo se questi valori sono rispettati è possibile accedere agli aiuti dell'edilizia sociale.

Dopo il primo anno di applicazione del programma già 1500 abitazioni nella sola città di Francoforte sono state costruite osservando criteri costruttivi di risparmio energetico con un consumo energetico inferiore ai 75 KWh/m^2 anno.

Questa metodologia si è dimostrata uno strumento prezioso per aumentare la sensibilità sia delle imprese di costruzione, sia dei rivenditori di materiale per l'edilizia.

Il "Frankfurter Energie-Pab" è obbligatorio in tutti i progetti di edilizia pubblica

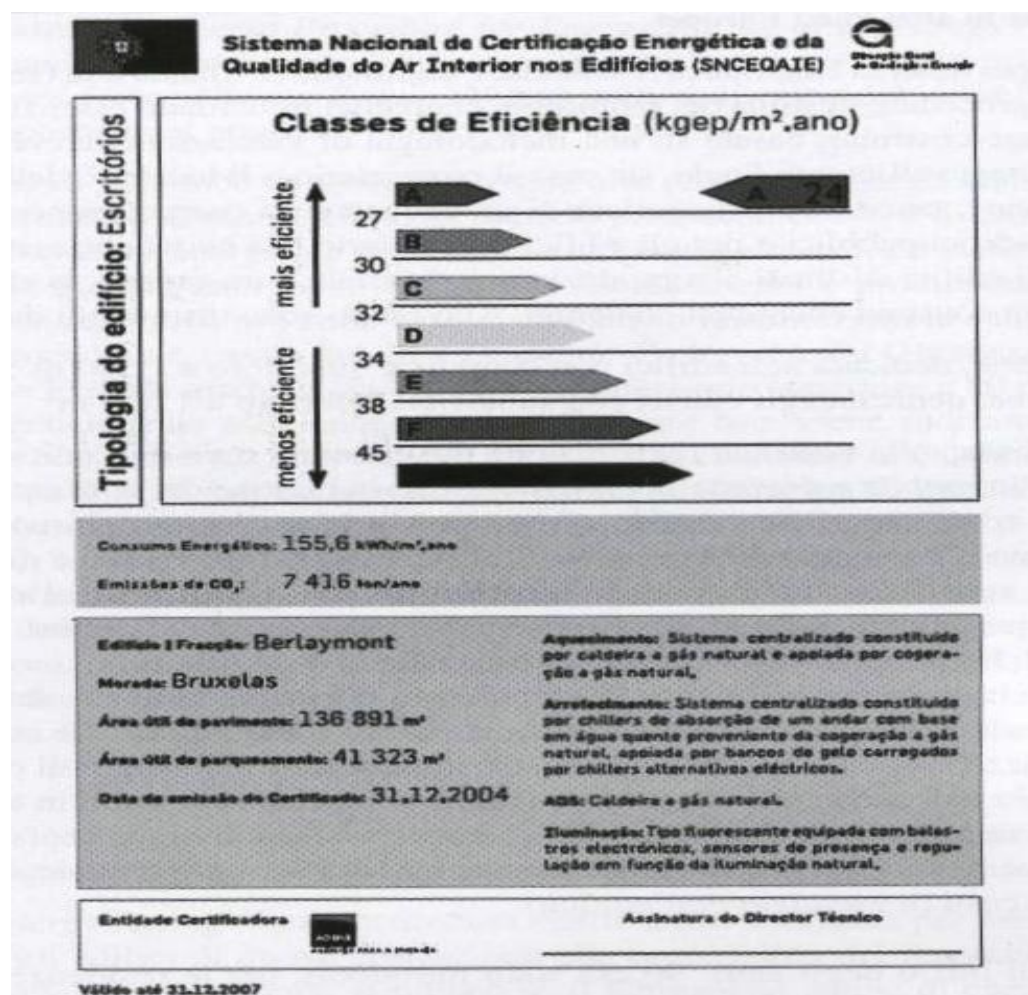
3.6 L'esperienza Olandese

3.6.1 Gli indicatori della prestazione energetica in Olanda

Dal punto di vista istituzionale si è intervenuti attraverso la definizione di regolamenti incentrati sulla qualità degli edifici e sugli standard relativi all'isolamento; attraverso incentivi finanziari per l'acquisto di sistemi energetici più efficienti. Già nel 1992 il "decreto sugli edifici" ha definito i requisiti relativi all'isolamento termico ed alla permeabilità all'aria dell'involucro edilizio. Nel 1995, è stata introdotta la prestazione energetica standard (EPN), ancora oggi utilizzato; esso consiste nell'applicazione di

un coefficiente standard che fa riferimento alle dimensioni dell'abitazione (superficie della facciata e superficie degli ambienti riscaldati).

Lo standard EPN consente di calcolare la prestazione energetica dell'abitazione e del suo sistema di riscaldamento, di ventilazione, di illuminazione e di condizionamento dell'aria



3.6.2 Lo standard olandese NEN 2916^{1,2}

Molti paesi europei hanno posto alla base delle loro procedure di valutazione della prestazione energetica degli edifici non residenziali lo standard olandese NEN 2916 che prende in considerazione il consumo energetico per riscaldamento, la ventilazione, l'illuminazione, il raffrescamento, l'umidificazione, l'acqua calda sanitaria.

Ovviamente l'applicazione di tale metodo in altri paesi richiede di apportare delle modifiche almeno relativamente ai dati climatici.

Lo standard olandese esprime il consumo energetico in termini di energia primaria e converte l'elettricità in energia primaria in base all'efficienza media della produzione elettrica.

3.7 *L'esperienza Austriaca*

3.7.1 Il programma di certificazione energetica in Austria

In Austria la provincia federale dell'Alta Austria ha iniziato un programma volontario di certificazione energetica chiamato "Energie Ausweis". Il programma iniziato nel Gennaio 1993 prevede aiuti nella misura di circa 4.000,00 euro per la costruzione delle case che siano progettate per massimizzare il risparmio energetico.

Il programma energetico si articola in due fasi :

- Il costruttore, si deve impegnare, attraverso la presentazione di un progetto tecnico, a costruire abitazioni che abbiano un consumo energetico specifico (NEZ) inferiore a quello prefissato dalle autorità locali ($65 \text{KWh/m}^2 \text{ anno}$).
- Il costruttore o l'acquirente deve partecipare ad un seminario sulle politiche di risparmio energetico nelle abitazioni, condotto da personale qualificato e superare un colloquio finale.

A ciascun edificio valutato nel quadro dei "contributi straordinari alla costruzione di abitazioni per modalità costruttive orientate al risparmio energetico" è rilasciata una carta di identità energetica conforme alle direttive UE.

Fino ad oggi sono stati valutati 10.000 edifici con un risparmio energetico annuale pari a circa 55 milioni di kwh.

3.8 *L'esperienza Svizzera*

3.8.1 *Lo standard MINERGIE*

In **Svizzera** nasce da un'idea in seno all'amministrazione cantonale (cantoni di Berna e Zurigo) lo standard MINERGIE che non vuole essere né una forma di architettura, né uno stile ed una tecnica costruttiva o impiantistica; ma MINERGIE è un marchio registrato, che pone in primo piano il benessere abitativo interno e la riduzione del consumo energetico sostenuto dai Cantoni, dalla Confederazione, dall'industria dell'edilizia e da alcuni istituti bancari, che certifica le prestazioni di un edificio per quanto riguarda i seguenti aspetti:

- comfort abitativo
- fabbisogno energetico
- economicità

Il comfort abitativo, obiettivo primario di Minergie, riguarda la qualità dell'aria interna, l'omogeneità della temperatura, la bassa convettività, la simmetria delle temperature superficiali, la protezione fonica dai rumori esterni.

Per quanto riguarda il secondo punto, il basso fabbisogno energetico, Minergie si pone gli obiettivi di avere maggiori prestazioni con minor consumo di energia, attraverso la valorizzazione delle fonti energetiche rinnovabili.

Circa l'economicità lo standard ha le caratteristiche di richiedere un supplemento di costo iniziale contenuto (al massimo 10%), che viene recuperato in pochi anni attraverso i minori costi per l'energia, la conservazione del valore di mercato, la competitività sul mercato, la possibile riduzione dei tassi ipotecari e le agevolazioni per la licenza edilizia.

Le premesse per lo standard Minergie sono quattro

- 1) aerazione dolce, cioè un ricambio d'aria non affidata solo all'apertura delle finestre
- 2) ottimo isolamento termico (14/16 cm contro i normali 8 cm)
- 3) involucro ermetico all'aria
- 4) consumo massimo di 4 litri di gasolio al metro quadrato

Lo standard si pone l'obiettivo di una grande diffusione del marchio, per la sua caratteristica intermedia fra lo standard energetico "obbligato", indicato dalle prestazioni cantonali e il massimo consentito dalla tecnica di avanguardia (Passivhaus), permettendo inoltre una maggior libertà architettonica e l'impiego di sistemi costruttivi e impiantistici consolidati, coniugando costi di costruzione sostenibile e rischi tecnici limitati.

Attualmente nel territorio svizzero sono 2500 gli edifici certificati con marchio Minergie e in media l'8% della nuova superficie edificata all'anno è certificata.

3.9 L'esperienza U.S.A.

3.9.1 Il modello di certificazione ambientale statunitense

Sin dal 1999 è operativo negli Stati Uniti un sistema di valutazione a punteggio LEED (Leadership in energy & enviromental design).

E' un sistema di classificazione della sostenibilità degli edifici commerciali, pubblici e residenziali ad alta densità applicato sia per interventi di nuova edificazione, sia per ristrutturazioni integrali.

Il sistema LEED consente l'attribuzione di un punteggio all'edificio, in base ai dati derivanti dal progetto e la relativa certificazione ai diversi livelli. LEED prevede la compilazione di un questionario sviluppato su EXCEL articolato in sette sezioni e, essendo un metodo a punti consente di effettuare la certificazione in base al punteggio complessivo, compreso tra 26 e 32, mentre un punteggio superiore a 52 permette di

conseguire la certificazione più alta (platinum level). Infatti gli edifici sono classificati come standard, argento, oro o platino.

A differenza degli altri sistemi di certificazione, il LEED introduce il concetto di pre-requisito, che deve essere assolutamente soddisfatto, senza il quale ogni altro punteggio viene annullato.

Capitolo 4

Il contesto italiano

4.1 La politica energetica ed il contesto legislativo

La politica energetica italiana è sotto la responsabilità del ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. Le autorità regionali e comunali hanno però, specie con la nuova politica del decentramento, il ruolo principale di attuare i programmi di politica energetica. Molto importante è il ruolo rivestito dall'agenzia ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) nel settore della ricerca e nella diffusione delle tecnologie finalizzate all'efficienza energetica, all'utilizzo di fonti rinnovabili ed al rispetto dell'ambiente.

Già alla fine degli anni '70, in conseguenza della crisi petrolifera del 1973 l'Italia ha iniziato a rendersi conto della necessità di dotarsi di politiche di risparmio energetico al fine di non dipendere eccessivamente dalle importazioni petrolifere straniere, per cui, forte di tale sensibilità alle problematiche energetiche e ambientali ha iniziato ad emanare provvedimenti legislativi in materia sin dal 1976 (legge n°373 del 1976).

Nel 1991 con la legge 10/91 si chiarisce per la prima volta che il risparmio energetico è il minor consumo "a parità di servizio reso e di qualità della vita", affermazione che delegittima tutta la legislazione precedente, provocandone quindi l'abrogazione.

Infatti il minor consumo di combustibile ottenuto limitando il servizio non può essere definito risparmio energetico, ed inoltre l'utilizzo intermittente di alcuni tipi di impianti causa addirittura un aumento nei consumi.

La certificazione energetica vuole essere una azione informativa rivolta a sensibilizzare l'utente sulla qualità energetica del proprio edificio. Una azione evidentemente, condotta nell'interesse primario del consumatore ed anche per l'intera collettività, nel caso in cui si ottenga un effetto di riduzione dei consumi attraverso azioni di riqualificazione energetica e, per far sì che il mercato si orienti verso modelli edilizi meno dissipativi.

Il certificato energetico di un edificio o di un'unità immobiliare è l'atto che documenta l'entità del fabbisogno di energia primaria convenzionalmente necessaria in un anno per:

- il riscaldamento degli ambienti;
- la produzione di acqua calda sanitaria;
- il condizionamento estivo.

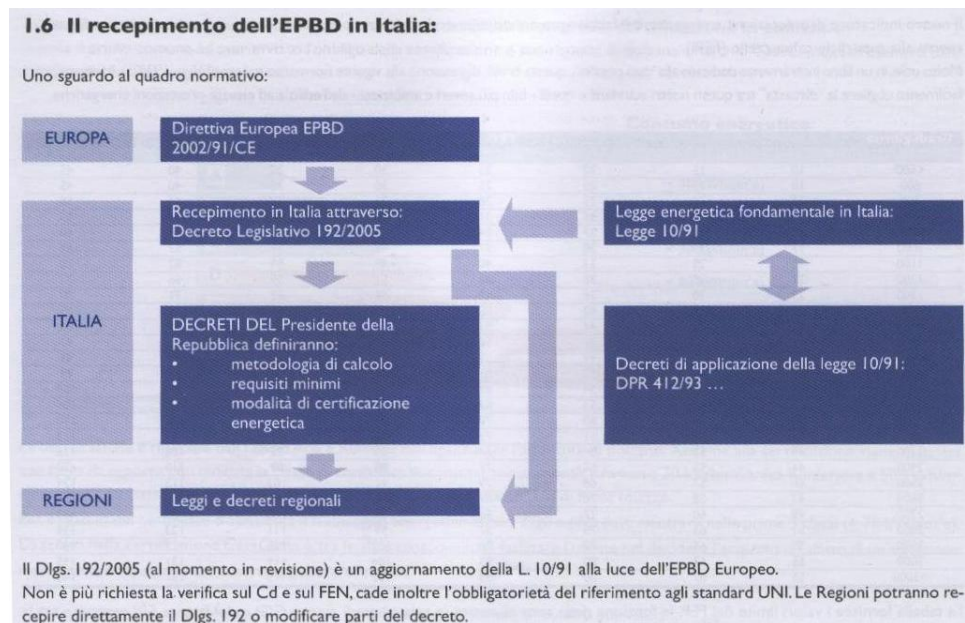
Deve indicare in forma sintetica le prestazioni termiche oggettive dell'edificio e dei relativi impianti in modo comprensibile all'utente (le prestazioni potranno eventualmente essere espresse su una scala di riferimento che ne faciliti la valutazione).

Oltre ai dati ed alle caratteristiche generali degli edifici e degli impianti, la certificazione deve indicare:

- il fabbisogno convenzionale di energia utile calcolato in conformità con la normativa UNI
- i rendimenti coerenti con il tipo di impianto (di produzione, distribuzione, regolazione ed emissione)
- il consumo convenzionale di riferimento tenendo debito conto anche dei consumi di energia elettrica in termini di energia primaria.

Con la certificazione si tende a raggiungere più obiettivi:

-
- Rendere disponibile un documento in grado di rappresentare in modo oggettivo le caratteristiche energetiche degli edifici e dei relativi impianti. L'istituzione di una procedura di informazione che riassume determinati dati essenziali per la valutazione della qualità di uno specifico edificio facilita ogni tipo di azione relativa allo stesso edificio.
 - Migliorare la trasparenza del mercato immobiliare. La certificazione energetica costituisce infatti un valido aiuto per il consumatore e consente al venditore di evidenziare le qualità termiche che valorizzano la costruzione
 - Promuove gli investimenti per l'uso razionale dell'energia. La certificazione conferirà maggior valore agli immobili sottoposti a miglioramento; questo aumento del valore costituirà per il proprietario un buon motivo per realizzare gli investimenti necessari.
 - Orientare la scelta negli investimenti. La conoscenza di parametri specifici (coefficienti di dispersione, rendimenti, ecc...) consente di orientare favorevolmente il proprietario verso gli investimenti più convenienti.
 - Riduzione del consumo energetico. Il fatto di tenere conto dell'efficienza energetica dell'edificio ed il conseguente sviluppo degli investimenti per un uso razionale dell'energia condurrà ad una riduzione dei consumi energetici.
 - Aumento dell'occupazione nel settore degli interventi di risparmio energetico. L'incremento delle opere per il risparmio energetico produrrà favorevoli ripercussioni sull'impiego di manodopera nel settore della ristrutturazione edilizia ed in quello della sostituzione.



4.2 La programmazione regionale

Molte regioni hanno avviato programmi per promuovere una progettazione maggiormente consapevole:

- l'Emilia Romagna ha introdotto la riduzione degli oneri di urbanizzazione se l'edificio risponde ad alcuni requisiti volontari;
- nella provincia autonoma di Trento esistono dei contributi finanziari per la realizzazione di nuovi edifici caratterizzati da consumi energetici contenuti e a basso impatto ambientale;
- la provincia autonoma di Bolzano ha messo a punto un sistema di certificazione denominato Casa Clima;
- la regione Piemonte ha introdotto un Prezziario come strumento di supporto;
- a livello interregionale si è avuta l'esperienza del Protocollo ITACA.

4.2.1 Il Regolamento edilizio tipo ed i requisiti volontari della regione Emilia Romagna

Il regolamento Edilizio della regione Emilia Romagna costituisce un importante strumento volto a promuovere la compatibilità ambientale degli edifici attraverso agevolazioni finanziarie.

Infatti al suo interno, ed in particolare nell'Allegato B, si introducono una serie di requisiti volontari relativi alla qualità ambientale, tali da poter usufruire di agevolazioni e sconti sugli oneri di urbanizzazione. Questi requisiti, oltre a contenere indicazioni sulla qualità del prodotto, contengono degli indirizzi che riguardano l'intero processo edilizio (di progettazione, organizzazione del cantiere, realizzazione, gestione tecnico-economica dell'edificio, gestione di impianti tecnologici e dei servizi complementari all'utenza)

Tali requisiti sono stati definiti nell'ottica dell'eco-sostenibilità, al fine di ridurre le emissioni di CO² e quindi di rispettare le previsioni del protocollo di Kyoto

Questi requisiti volontari sono diciotto e ad essi si aggiunge l'importante prerequisito dell' "analisi del sito" che considera fattori caratteristici del sito quali il clima igrotermico ed acustico, le precipitazioni, la disponibilità delle risorse rinnovabili e di luce naturale, l'eventuale presenza di campi magnetici.

Ogni requisito comprende eventuali sub-requisiti per i quali è possibile definire il livello minimo di prestazione da soddisfare . I requisiti sono:

- 1) La temperatura superficiale nel periodo invernale
- 2) La riverberazione sonora
- 3) Il controllo dell'apporto energetico da soleggiamento estivo
- 4) Il controllo dell'apporto energetico da soleggiamento invernale
- 5) Il risparmio energetico nel periodo invernale
- 6) La protezione dai venti invernali
- 7) La ventilazione naturale estiva

- 8) L'uso dell'inerzia termica per la climatizzazione estiva
- 9) L'uso dell'apporto energetico solare per il riscaldamento dell'acqua
- 10) L'accessibilità all'interno dell'organismo edilizio
- 11) L'arredabilità
- 12) La dotazione di impianti per aumentare il benessere ed il senso di sicurezza
- 13) La riduzione ed il consumo di acqua potabile
- 14) Il recupero per usi compatibili, delle acque meteoriche provenienti dalle coperture
- 15) Il recupero per usi compatibili, delle acque grigie
- 16) Il controllo delle emissioni nocive dei materiali da costruzione, degli impianti e delle finiture
- 17) L'asetticità
- 18) La riciclabilità dei materiali da costruzione.

Se tutti i requisiti sono rispettati, si ottiene un punteggio pari a 100, che consente di usufruire di uno sconto del 50% sugli oneri di urbanizzazione.

Siccome i requisiti sono volontari, si può scegliere quali rispettare e in funzione di questi sarà definita la relativa agevolazione.

Il sistema che ha bisogno ancora di alcuni perfezionamenti, si presenta però al tempo stesso completo e flessibile e si può considerare come un valido strumento che consente di ottenere un buon livello di qualità superiore a quello definito per legge e in grado di sostenere e promuovere l'edilizia Eco-Compatibile.

4.2.2 Il regolamento Provinciale di Trento sul risparmio energetico

Il regolamento provinciale impone dei valori limite della trasmittanza degli elementi costruttivi, che associati alla valutazione dell'indice "I_{en}", consentono di valutare la prestazione energetica dell'intero involucro edilizio. Il parametro "I_{en}" esprime il

fabbisogno energetico stagionale, ed è funzione dei gradi-giorno della località e della volumetria dell'edificio.

Inoltre a dei requisiti di carattere prevalentemente energetico, si aggiungono dei requisiti facoltativi che prevedono l'adozione di sistemi tecnologici volti all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Valore massimo del parametro len

GRADI-GIORNO	VOLUME LORDO RISCALDATO MINORE DI 1500 MC. (KWH/MQ)	VOLUME LORDO RISCALDATO MAGGIORE DI 1500 MC. (KWH/MQ)
GG≤3.000	60	55
3000<GG≤3500	70	60
3500<GG≤4000	80	65
GG>4.000	90	70

Fonte: L.P. 29/5/1980 n. 14 e successive modificazioni ed integrazioni "Provvedimenti per il risparmio energetico e l'utilizzazione delle fonti alternative di energia", pag. 14 cfr. bibliografia.

Valori della trasmittanza per il rispetto dell'indice len

GRADI-GIORNO	INDICE DI CONSUMO	TRASMITTANZA PARETI (w/m ² °C)	TRASMITTANZA PAVIMENTI	TRASMITTANZA COPERTURE	TRASMITTANZA MEDIA VETRI	VENTILAZIONE FORZATA CON RECUPERO S/N
EDIFICI CON VOLUME LORDO RISCALDATO MINORE DI 1500 METRI CUBI						
GG≤3.000	60	0,4	0,4	0,25	1,3	n
3000<GG≤3500	70	0,35	0,3	0,2	1,3	n
3500<GG≤4000	80	0,4	0,4	0,2	1,3	s
GG>4.000	90	0,4	0,3	0,2	1,3	s
EDIFICI CON VOLUME LORDO RISCALDATO MAGGIORE DI 1500 METRI CUBI						
GG≤3.000	55	0,4	0,35	0,25	1,3	n
3000<GG≤3500	60	0,3	0,30	0,20	1,3	n
3500<GG≤4000	65	0,4	0,35	0,20	1,3	s
GG>4.000	70	0,4	0,30	0,20	1,3	s

Fonte: L.P. 29/5/1980 n. 14 e successive modificazioni ed integrazioni "Provvedimenti per il risparmio energetico e l'utilizzazione delle fonti alternative di energia", pagg. 14-15 cfr. bibliografia.

4.2.3 Il regolamento Provinciale di Bolzano sul risparmio energetico

La provincia autonoma di Bolzano ha introdotto, per ora su base volontaria, un sistema di certificazione degli edifici denominato “CASA CLIMA”. Si basa sul presupposto che sia necessaria estrema chiarezza e semplicità per classificare gli edifici che sono gestiti dai privati, difficilmente esperti nel settore energetico.

La certificazione è rilasciata dall’Ufficio Aria e Rumore dell’agenzia per l’ambiente di Bolzano che, dopo un’analisi del bilancio energetico dell’edificio, ne individua gli aspetti positivi e negativi e fornisce anche informazioni sulle possibilità di intervento migliorativo.

Nella targhetta che viene rilasciata all’edificio è indicata la classe:

- Classe A: consumi convenzionali inferiori a 30 KWh/m² anno;
- Classe B: consumi convenzionali inferiori a 50 KWh/m² anno;
- Classe C: consumi convenzionali inferiori a 70 KWh/m² anno;

La classe viene determinata con un metodo di calcolo standard e di facile utilizzo, disponibile a tutti gratuitamente.

Il fabbisogno di energia per riscaldamento Q_h viene calcolato sulla base della norma UNI EN 832 e sulla norma austriaca B8110-1 con un bilancio energetico in regime stazionario in condizioni standard di funzionamento:

$$Q_h = (Q_t + Q_v) - \nu * (Q_i + Q_s)$$

Dove:

- Q_t = energia dispersa per trasmissione (kwh/anno)
- Q_v = energia dispersa per ventilazione (kwh/anno)
- ν = fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti (-)
- Q_i = energia da apporti di calore interni (kwh/anno)
- Q_s = energia da apporti solari (kwh/anno).

Quindi, nel calcolo del fabbisogno non rientra il fabbisogno dell'impianto, ma la valutazione dell'edificio con il metodo Casa Clima viene condotto solo sulla base delle prestazioni termofisiche dell'involucro. Grande importanza assume pertanto il corretto isolamento dell'edificio.

Il progetto CASA CLIMA è stato presentato a Bolzano nel febbraio 2002 e nonostante l'intenzione iniziale fosse quella di farne uno strumento integrato nella legislazione – uno strumento obbligatorio quindi- per evitarne uno stravolgimento rispetto all'idea originaria, si è preferito rinunciare al suo inserimento nel quadro normativo.

Agli uffici della Provincia di Bolzano sono arrivate decine di richieste di certificazione ed inoltre, ogni anno viene indetto un concorso per premiare la migliore CASA CLIMA; per parteciparvi sono necessari un fabbisogno inferiore a 50KWh/m² anno e nessun ricorso a fonti energetiche fossili ed è inoltre richiesto che nella costruzione vengano prese alcune importanti cautele circa i materiali impiegati. Il comune di Bolzano è il primo comune in Italia ad aver introdotto l'obbligo di questa certificazione ed ha anche prescritto lo standard energetico (ovvero almeno di classe C) per tutto il territorio.

Se un edificio è classificato come "A" o "B" viene definito Casa Clima e viene identificato attraverso una targhetta esposta all'ingresso dell'edificio.

Se inoltre, sono rispettate le seguenti condizioni:

- nessun utilizzo di fonti energetiche di tipo fossile
- nessun utilizzo di isolanti termici sintetici (es. polistirene) e/o contenenti fibre nocive(es. lana di roccia e lana di vetro)
- nessun utilizzo di pavimenti, porte e finestre in PVC
- nessun utilizzo in ambienti chiusi di impregnanti chimici, vernici o colori contenenti solventi
- nessun utilizzo di legno tropicale

Allora l'edificio sarà identificato con la targhetta Casa Clima PIU'

La domanda di certificazione che deve essere presentata all'ufficio Aria e Rumore del comune di Bolzano, deve essere corredata del progetto termico e da una tabella in formato excel che rappresenta lo strumento di calcolo.

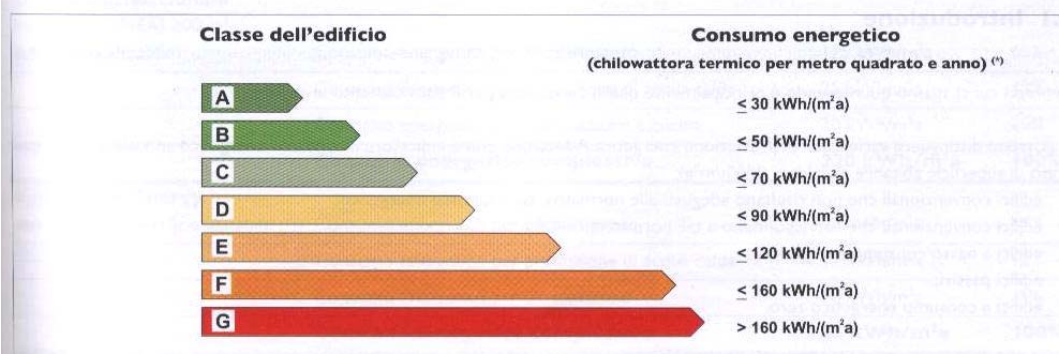
Gli aspetti che vengono considerati in questa tabella sono:

- le perdite di calore per trasmissione
- le perdite di calore per ventilazione
- i guadagni termici solari
- i guadagni per carichi interni, dati dagli elettrodomestici e dalle persone stesse.

Si è stimato che gli interventi di bioedilizia cui spinge questo meccanismo, come l'isolamento delle pareti e del tetto, comportano un incremento del costo iniziale pari a circa il 2% e tale prezzo è ammortizzato nei successivi 8/9 anni .

L'altra importante innovazione che deriva dal recepimento dell'EPBD è l'avvio della **certificazione in edilizia**.

In Italia il primo comune ad aver avviato l'obbligo della certificazione è stato quello di Bolzano (marchio CasaClima), sull'esempio della classificazione degli elettrodomestici:



La certificazione è rilasciata dall'Ufficio Aria e Rumore dell'agenzia per l'ambiente di Bolzano. Assieme alla certificazione viene rilasciata una targa da esporre con indicata la classe di consumo: A-consumi convenzionali inferiori a 30 kWh/m² anno, B-inferiore a 50 kWh/m² anno ecc.... La classe viene determinata con un metodo di calcolo standard di facile utilizzo.

Per il rilascio del certificato d'abitabilità il fabbisogno energetico annuo degli edifici deve rientrare nelle prime 3 classi (≤ 70 kWh/m²a). Lo scopo della certificazione CasaClima è, tra le altre cose, quello di facilitare l'utente nel decidere l'acquisto o l'affitto di un'abitazione mediante la trasparenza dei costi energetici d'esercizio.

4.2.4 L'esperienza della regione Lombardia

Si basa sull'attivazione sin dal 1995 di una Rete di Punti Energia che dal 1998 hanno attivato all'interno una procedura volontaria di certificazione energetica degli edifici basata sull'analisi delle caratteristiche termofisiche ed impiantistiche degli stessi e della successiva elaborazione dei dati con un apposito software denominato CENED in modo da individuare il valore del Fabbisogno Energetico Normalizzato dell'immobile (FEN) (Kj/mc giorno °C) suddiviso in 10 classi, calcolato come:

$$FEN = Q / (T_i - T_{em}) * N * V$$

Dove:

- Q=fabbisogno convenzionale stagionale di energia primaria per riscaldamento (KJ)
- T_i = temperatura interna di progetto (°C)
- T_{em} = temperatura media stagionale dell'aria esterna (°C)
- N= numero di giorni del periodo di riscaldamento (giorno)
- V=Volume dell'edificio (mc)

Come si può notare, a differenza della procedura proposta da CasaClima, la valutazione dell'edificio viene condotta non sulla base delle sole prestazioni termofisiche dell'involucro, ma delle prestazioni del sistema edificio-impianto, essendo il fabbisogno convenzionale stagionale di energia primaria per riscaldamento (Q) già depurato dei rendimenti impiantistici.

4.2.5 Il Protocollo ITACA per la certificazione energetica ed ambientale degli edifici

Il protocollo ITACA costituisce uno strumento nazionale finalizzato a promuovere l'edilizia sostenibile. Questo è stato messo a punto da quattordici regioni, tra cui il Friuli Venezia Giulia in qualità di coordinatore.

Questo strumento è il frutto di un gruppo di lavoro che si è concentrato sullo studio delle caratteristiche che un edificio bioedile deve avere e, quindi, sulla definizione dei dieci principi fondamentali per l'edilizia sostenibile

- 1) ricercare uno sviluppo armonioso e sostenibile del territorio;
- 2) tutelare l'identità storica della città e favorire il mantenimento dei caratteri storici e tipologici legati alla tradizione degli edifici;
- 3) contribuire con azioni e misure, al risparmio energetico ed all'utilizzo delle fonti rinnovabili;
- 4) costruire in modo sicuro e salubre;
- 5) ricercare ed applicare tecnologie edilizie sostenibili sotto il profilo ambientale, economico e sociale;
- 6) utilizzare materiali di qualità certificata ed eco-compatibili;
- 7) progettare soluzioni differenziate per rispondere alle diverse richieste di qualità dell'abitare;
- 8) garantire gli aspetti di "Safety" e di "Security" dell'edificio;
- 9) applicare la domotica per lo sviluppo di una nuova qualità dell'abitare
- 10) promuovere la formazione professionale, la progettazione partecipata e l'assunzione di scelte consapevoli nell'attività edilizia.

Il gruppo di lavoro, oltre a valutare gli aspetti esclusivamente energetici di un edificio, affronta tutte le tematiche relative ai carichi ambientali prodotti dall'edificio, alle qualità degli spazi esterni, alla qualità dei servizi, dei trasporti.

I parametri energetico/ambientali considerati, consentono di valutare la sostenibilità dell'edificio durante tutto il suo ciclo di vita.

I differenti parametri, sono stati raggruppati nelle "aree di valutazione":

- Qualità ambientale degli spazi esterni

- Consumo di risorse
- Carichi ambientali
- Qualità dell'ambiente interno
- Qualità del servizio
- Qualità della gestione
- Trasporti.

All'interno di ogni area di valutazione sono state definite delle categorie di requisiti contenenti, a loro volta, i singoli requisiti che, nel caso le relative norme richiedessero una ulteriore differenziazione, possono essere suddivisi in sottorequisiti.

Per agevolare la verifica di ogni requisito, o sottorequisito, il Protocollo Itaca prevede una scheda di valutazione che riguarda la specifica tematica prevista dal relativo requisito.

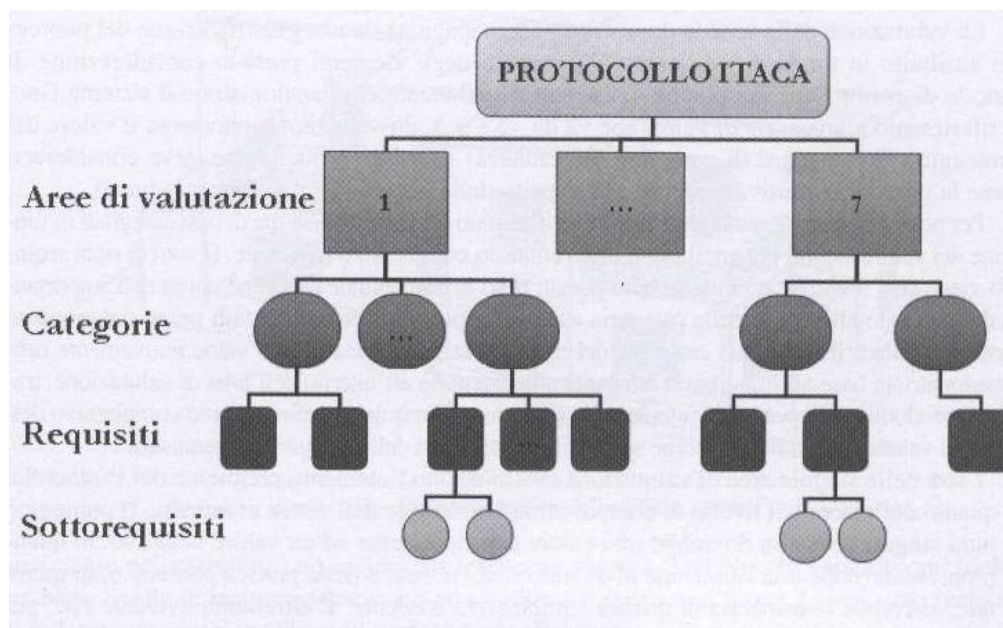
I principali contenuti della scheda sono:

- il riferimento all'area di valutazione ed alla categoria di appartenenza;
- l'esigenza da soddisfare;
- l'indicatore di prestazione;
- l'unità di misura dell'indicatore di prestazione;
- il metodo e lo strumento;
- la strategia progettuale di riferimento per soddisfare il requisito
- la scala di prestazione
- i riferimenti normativi
- i riferimenti tecnici
- il peso del requisito, ovvero la sua importanza nel sistema di valutazione.

Il Protocollo Itaca si compone di ben settantaquattro schede, e ciò lo rende uno strumento piuttosto complicato e, di difficile diffusione, per cui è stato messo a punto un protocollo semplificato che contiene ventotto schede relative ai requisiti ritenuti fondamentali ed indispensabili per la valutazione dell'eco-sostenibilità di un edificio.

Per ottenere la prestazione energetico - ambientale dell'edificio, i punteggi vengono pesati in base alla propria importanza ed aggregati in modo tale da ottenere un punteggio complessivo al quale sarà poi possibile associare un'etichetta di qualità. La fase più complicata dello strumento consiste nella definizione dei pesi da associare ai requisiti. Solo attraverso tali pesi, le amministrazioni possono contestualizzare lo strumento in modo tale che rifletta la realtà locale.

Purtuttavia l'applicazione dello strumento non garantisce all'edificio di progetto un buon comportamento prestazionale dal punto di vista energetico- ambientale. Le schede proposte, infatti, costituiscono solo uno strumento di supporto per i progettisti finalizzato ad offrire una serie di utili suggerimenti.



Capitolo 5

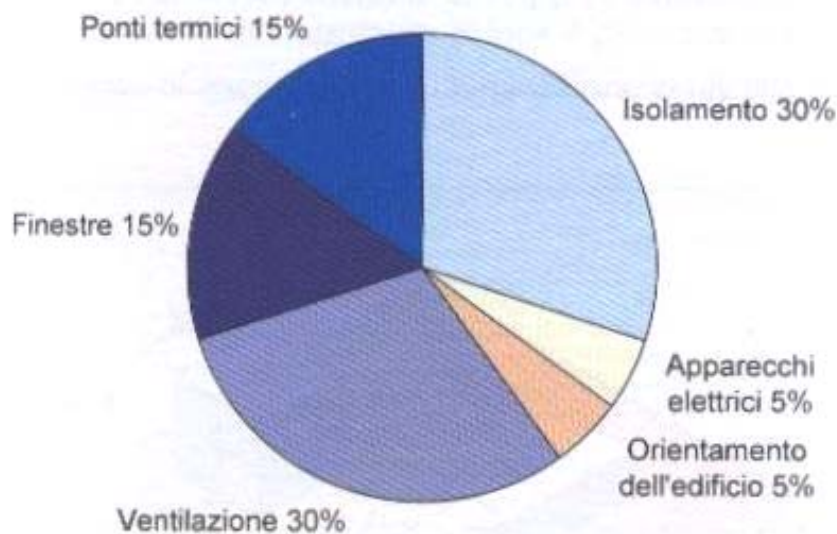
I parametri chiave della certificazione energetica

Introduzione

I parametri da considerare per effettuare la certificazione energetica sono:

- la forma dell'edificio (compattezza);
- l'isolamento termico ed i ponti termici;
- la superficie, l'orientamento ed il tipo delle superfici vetrate;
- l'inerzia termica;
- l'efficienza dell'impianto di riscaldamento;
- il costo del combustibile;
- l'isolamento delle tubazioni;
- gli apporti solari;
- gli apporti interni;
- la ventilazione ed il raffrescamento;
- l'illuminazione artificiale.

Ogni parametro di questi riveste un ruolo importante nella determinazione della prestazione energetica dell'edificio.



5.1 La (Forma) compattezza dell'edificio

La forma dell'edificio influisce in maniera significativa sulle perdite termiche.

Lo scambio termico tra interno ed esterno di un edificio avviene infatti attraverso la superficie dell'involucro: quanto più è elevata la superficie(S) che racchiude il volume (V) riscaldato, tanto più è elevato lo scambio termico. Per essere energeticamente efficiente un edificio deve avere un basso indice S/V.

Per avere una forma compatta, non si deve necessariamente rinunciare a sporgenze o rientranze; balconi, terrazzi, verande si possono costruire, purché all'esterno dell'involucro termico.

La compattezza C dell'edificio è data dal rapporto tra il suo volume V e la superficie dell'involucro S:

$$C = V/S$$

Questo fattore influenza il valore dell'energia necessaria al riscaldamento degli ambienti.

E' immediato intuire che una casa a patio abbia una maggiore dispersione di una casa in linea per cui, dal punto di vista energetico, la costruzione compatta è quella più efficiente. Per un edificio passivo, che è un edificio che ha un fabbisogno termico invernale inferiore alle 15KWh/m²anno, il rapporto tra superficie dell'involucro ed il volume che lo racchiude dovrebbe essere di circa 0,6.

Questo aspetto nonostante l'evidente peso che riveste sui consumi energetici, non viene sempre valutato da alcuni regolamenti termici, come quello francese.

Tipologia edilizia	S/V(m ⁻¹)
Villetta	≈0,80
Villetta a schiera	≈0,65
Edificio in linea	≈0,50
Edificio a torre	≈0,30

5.2 La trasmittanza degli elementi costruttivi

La stima delle dispersioni termiche viene effettuata ai sensi della normativa vigente in Italia UNI 7357/74

La normativa distingue:

- carichi termici per *trasmissione attraverso l'involucro* (o dispersioni) che rappresentano quota parte della potenza termica che si perde attraverso le strutture edilizie
- carichi termici per *ventilazione*, rappresentano la potenza persa dall'aria attraverso l'introduzione di aria esterna, ottenuta per

A) ventilazione naturale

B) ventilazione forzata

Nell'ipotesi di regime stazionario la portata dell'aria in ingresso al sistema è uguale a quella in uscita (altrimenti si avrebbe un aumento della massa d'aria e della pressione in ambiente).

La trasmittanza unitaria, o coefficiente globale di trasmissione termica, rappresenta la potenza termica che in condizioni di regime stazionario passa da un fluido ad un altro attraverso una parete per unità di superficie e di differenza di temperatura.

Essa si esprime in ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) ed è definita dall'espressione:

$$K = 1 / (1/\alpha_i + \sum s_i/\lambda_i + \sum 1/c_i + \sum R_i + 1/\alpha_e) \quad (\text{con } i = 1 \dots n)$$

Ove:

- $1/\alpha_i$ ed $1/\alpha_e$ rappresentano le resistenze termiche unitarie dello strato limitare dell'aria, rispettivamente sulla superficie interna e su quella esterna della parete. I valori per tale grandezza da assumersi per l'interno α_i , e per l'esterno α_e , sono fissati dalla normativa in base alla disposizione della superficie, alla direzione del flusso per le superfici orizzontali ed alle condizioni dell'aria. Per le pareti interne l'aria è in quiete, per quelle esterne invece la componente convettiva è superiore ed i valori forniti prescindono dalla velocità del vento finché questa risulta inferiore od uguale a 4 m/s. Quando la velocità del vento assume entità maggiore, i valori di α_e sono espressi in funzione della velocità del vento W espressa in m/s
- s/λ rappresenta la resistenza termica unitaria ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) per ciascuno strato piano omogeneo di spessore s (m), e conducibilità termica λ (W/mK). Il reciproco di tale rapporto, λ/σ , rappresenta la conduttanza termica unitaria del singolo strato.

La normativa UNI 10351 fornisce per materiali da costruzione la conduttività λ

- $\sum R_i$ (con $i = 1 \dots n$) si utilizza per gli strati che non possono essere considerati omogenei o per i quali il valore di resistenza non può essere determinato da s/λ , è il caso di intercapedini, delle strutture eterogenee come i solai o le strutture forate con consistente cavità piene d'aria. Studi su tali tipo di strutture hanno messo in evidenza che i parametri che maggiormente influenzano il valore della resistenza termica R sono lo spessore dell'intercapedine ed un parametro dimensionale b che racchiude le caratteristiche della remissività e delle due superfici che le delimitano.

La normativa (UNI 10355) fornisce per strutture eterogenee i valori della resistenza termica di murature e solai.

- $\sum 1/c_i$ (con $i = 1 \dots n$) è la somma delle resistenze degli eventuali strati non omogenei per i quali esistono tabelle da cui attingere i valori della conduttanza C .

La trasmittanza esprime quindi, lo scambio termico che si verifica quando un qualsiasi elemento strutturale è in contatto con l'esterno o con un ambiente non riscaldato, scambio che si verifica sia a seguito del trasferimento di calore per conduzione che attraverso la convezione e l'irraggiamento

5.2.1 Caso particolare: Pavimenti posati sul terreno (UNI 10346)

In queste condizioni le dispersioni con l'ambiente esterno e con il sottosuolo vengono trattate separatamente. Le dispersioni dei pavimenti verso l'ambiente esterno restano proporzionati alla differenza di temperatura ($t_i - t_e$) ma, stando a quota del terreno circostante, la superficie interessata è una striscia di pavimento adiacente ai muri esterni.

$$Q = P(2-h)K^*(t_i - t_e)$$

Ove

- $P(m)$ = perimetro del pavimento (relativo alle sole pareti esterne)
- $h(m)$ = è la profondità di interrimento del pavimento
- K^* è la trasmittanza fittizia $= 1 / (1/K + 1/C)$
- dove K è la trasmittanza normale e C è la conduttività del terreno umido ($1,74 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ in valore medio).

5.2.2 Trasmittanza per superfici vetrate

Concettualmente non c'è differenza tra la trasmittanza K finora considerata per i componenti edilizi detti opachi e quella per i componenti detti trasparenti o vetrati (finestre)

Bisogna notare che il serramento è composto da due elementi distinti:

- la parete trasparente (ossia lo specchio vetrato della finestra)
- la parete opaca (ossia il telaio del serramento), che spesso per gli edifici ad uso civile può costituire anche ed oltre il 30% dell'area dell'intero vano.

La trasmittanza del telaio è tipicamente differente dal valore della parte vetrata.

$$K = (A_g K_g + A_f K_f) / (A_g + A_f)$$

Per i serramenti con doppio vetro bisogna tenere conto della trasmittanza dei distanziatori posti tra due vetri in corrispondenza del telaio: si introduce, nella formula un coefficiente lineare di trasmissione termica ψ (W/mK) che va moltiplicato per la lunghezza perimetrale della superficie della struttura in esame.

$$K = (A_g K_g + A_f K_f + L_1 \psi_1) / (A_g + A_f)$$

I valori di ψ sono fissati dalla normativa in base al materiale del telaio

(legno, plastica, metallo con o senza taglio termico) ed alla conformazione della vetrocamera (tipo di vetro, presenza o meno di pellicole riflettenti, numero dei vetri e quindi delle intercapedini d'aria);

- I valori K_f sono tabellati in base alla forma ed al materiale del telaio;

- I valori di K_g si calcolano con la seguente:

$$K=1/(1/\alpha_i+\sum r_i d_i+\sum r_{sj}+1/\alpha_e)$$

Dove $i = 1 \dots n$ $j = 1 \dots n-1$

- n è il numero delle lastre costituente il componente trasparente
- r (mk/W) è la resistività della lastra di vetro
- d (m) è lo spessore del vetro
- R_s (K/W) è la resistenza termica dello spazio racchiuso tra due lastre, dipendono dal tipo di gas, dallo spessore e dall'emissività delle superfici vetrate
- α_i ed α_e sono rispettivamente le adduttanze interne ed esterne, la normativa permette di utilizzare i valori previsti dalla UNI 7357

Una volta definita la trasmittanza è possibile calcolare la dispersione termica, ossia la quantità di calore che attraversa un generico elemento dall'interno verso l'esterno.

$$Q_o=A*K*(T_i-T_e)$$

Dove Q_o è una potenza espressa in W essendo uno scambio di calore rapportato al tempo.

Questa formula è valida però soltanto se la propagazione del calore è monodimensionale, cioè quando la direzione del flusso termico è univoca, per questo motivo bisogna considerare anche le dispersioni di calore attraverso gli elementi edilizi in cui il flusso non è monodimensionale, ovvero attraverso i ponti termici.

5.2.3 La diminuzione della trasmittanza

Per la diminuzione della trasmittanza in genere, ma anche per l'isolamento a cappotto esterno, esistono tanti materiali tecnicamente validi ma non tutti soddisfano i principi della bio-architettura o per meglio dire i principi della sostenibilità.

I materiali da utilizzare devono assicurare benessere e vitalità all'utente, soddisfare le sue esigenze culturali e percettive, offrire riferimenti simbolici ed essere in armonia con l'ambiente circostante l'edificio.

Inoltre uno degli obiettivi principali nel progetto di una costruzione "sana" è di ridurre al minimo la presenza di umidità facilitandone l'evaporazione e di prevenire la concentrazione di sostanze nocive alla salute.

Le pareti dell'involucro edilizio devono fungere da protezione da filtro verso l'esterno e come tali devono "respirare" in modo naturale, come la pelle del corpo, proteggere dalle aggressioni esterne, "filtrare" gli inquinanti, permettere la traspirazione dell'umidità prodotta dalle attività interne.

Quindi i materiali devono ottimizzare lo scambio idrometrico con l'esterno con proprietà termoregolatrici che assecondino i ritmi stagionali e diurni nel variare dell'escursione termica tra interno ed esterno.

5.3 I ponti termici

Il calcolo delle dispersioni termiche di un edificio viene svolto in regime termico stazionario, ossia assumendo costanti le temperature interne e quelle esterne, ma nella realtà ciò non è mai verificato vista la disomogeneità degli elementi costruttivi.

Infatti se si considera un solaio latero-cementizio o una parete in mattoni di laterizio forati, il flusso termico, non è costante, ma varia in funzione del tipo di disomogeneità o di configurazione geometrica.

I ponti termici, che identificano tale difformità, possono provocare delle dispersioni termiche piuttosto rilevanti. Pertanto, il calcolo del carico termico di un edificio non può prescindere dalla valutazione degli stessi, ossia del flusso termico non monodimensionale, che soprattutto in prossimità di nodi strutturali e tecnologici.

I ponti termici, almeno quelli di influenza tale da dover prendere in considerazione sono provocati dalla:

- disomogeneità termica dei materiali che compongono la struttura;

- irregolarità geometrica della struttura;
- interruzioni dello strato di isolamento termico.

Così ad esempio:

- l'interruzione dell'isolamento in corrispondenza della fondazione causa un ponte termico lungo tutto il perimetro dell'edificio ;
- l'interruzione dell'isolamento posto sulla faccia interna del muro di tamponamento, in corrispondenza di ogni solaio interpiano, causa notevoli dispersioni termiche lungo tutto il perimetro dell'edificio.

Per calcolare il flusso termico trasmesso in queste configurazioni, si ricorre ad una grandezza chiamata “coefficiente di trasmissione lineica K ” definita attraverso delle tabelle nelle differenti configurazioni.

Così la formula per il calcolo della dispersione termica per ogni singolo ponte termico è :

$$Q = K * L * (T_i - T_e)$$

Dove:

- K è il coefficiente lineico ($W/m^{\circ}C$)
- L è l'estensione lineare del ponte termico (m)
- $(T_i - T_e)$ è la differenza di temperatura dell'aria tra interno ed esterno ($^{\circ}C$)

Quindi il ponte termico può essere inteso come un ulteriore elemento di frontiera avente dispersione lineare K e lunghezza L .

L'aumento delle dispersioni termiche attraverso l'involucro, non è l'unico effetto dei ponti termici: infatti questi comportano una diversa distribuzione delle temperature superficiali ed interne che porta a fenomeni di condensazione sia interstiziale che superficiale. Ciò porta al progressivo degrado della struttura e, di conseguenza l'abbassamento del livello di benessere abitativo.

I principali effetti negativi dei ponti termici si possono così riassumere:

- Maggiore dispersione termica: infatti i ponti termici pur interessando spesso una parte non estesa di una superficie,

possono anche triplicare la dispersione attraverso l'intera superficie;

- Condensazione: che si manifesta quando la temperatura superficiale dell'involucro dell'edificio ha valore più basso del punto di rugiada, anche se il livello dell'umidità relativa interna garantisce il comfort termico;
- Formazione delle muffe: in corrispondenza dei ponti termici si hanno basse temperature ed elevati valori di umidità che favoriscono la formazione delle muffe;
- Danni alla superficie: poiché la polverizzazione dei materiali dovuta alle variazioni cicliche della temperatura superficiale, è conseguenza sempre dei ponti termici;
- Diminuzione del comfort termico: poiché in prossimità degli elementi strutturali interessati dai ponti termici, si avverte una sensazione di disagio dovuta al fatto che la loro superficie si trova ad una temperatura inferiore di almeno due o tre gradi rispetto alla temperatura dell'ambiente.

5.4 L'inerzia termica

L'ipotesi di regime termico stazionario, come detto non corrisponde alla realtà poiché le temperature esterna ed interna giornaliere variano per cui l'ipotesi di regime termico stazionario non solo non tiene conto del contributo relativo ai ponti termici, ma si limita a valutare la trasmissione del calore solo attraverso la trasmittanza, trascurando la capacità termica dell'involucro edilizio.

Gli effetti dell'accumulo termico e della resistenza termica si verificano simultaneamente ed il loro effetto è denominato **inerzia termica** ed identifica la capacità dell'edificio di accumulare e rilasciare calore.

L'inerzia termica agisce sulla velocità di variazione della temperatura interna a seguito di un incremento o decremento della temperatura esterna, infatti la velocità a cui la temperatura dell'aria interna sale, o scende, sarà minore se maggiore sarà l'inerzia termica. Inoltre per evitare che la temperatura dell'ambiente interno risenta in breve tempo dei valori raggiunti all'esterno, la muratura deve garantire uno sfasamento adeguato dell'ampiezza dell'onda di variazione della temperatura.

L'inerzia termica, quindi, costituisce un importante fattore da considerare per garantire le condizioni di confort termico negli ambienti: infatti una buona progettazione dell'involucro edilizio in termini di inerzia termica consente di evitare il surriscaldamento dell'aria nei mesi caldi e, allo stesso tempo, improvvisi sbalzi termici nei mesi freddi. Per ottenere ciò, l'ideale è realizzare un involucro "pesante" nel senso che bisognerebbe realizzare murature con elevata capacità termica associata ad una bassa conduttività termica.

Ciò perché l'inerzia di un edificio dipende dalle caratteristiche del solaio di copertura e delle pareti di tamponamento:

- la copertura può essere considerata "pesante" se il suo pacchetto è costituito da almeno sette centimetri di calcestruzzo;
- le pareti invece, devono contenere almeno sette centimetri di calcestruzzo, mattoni pieni, o undici centimetri di blocchi in calcestruzzo, oppure devono essere costituite da quindici centimetri di mattoni forati e devono essere isolate esternamente.

5.4.1 La valutazione dell'inerzia termica

Per valutare gli effetti dell'inerzia termica sull'andamento della temperatura interna, i parametri da tenere presenti per le scelte progettuali delle chiusure esterne opache sono:

- la costante di tempo termica: ossia il rapporto tra energia accumulata ed energia trasmessa attraverso l'elemento strutturale. Rappresenta il tempo necessario affinché il calore accumulato per effetto degli apporti termici esterni o interni, sia rilasciato completamente all'interno dell'edificio. Questo valore dipende dalla massa totale dell'edificio e dal rapporto tra la superficie dell'involucro ed il suo volume.
- Il fattore di attenuazione armonica: che è il rapporto tra l'ampiezza dell'oscillazione termica della temperatura media dell'aria interna e quella della temperatura media dell'aria esterna. Il suo valore varia da 0 (inerzia infinita) ad 1 (inerzia nulla). Considerando una chiusura esterna opaca, l'attenuazione dipende dallo spessore della massa muraria e dallo spessore oltre che dalla collocazione dello strato isolante: una parete di cls di cm. 40 ha lo stesso coefficiente di attenuazione di una parete di 20 cm isolata esternamente con un pannello di lana di roccia avente lo spessore pari ad un centimetro, a conferma di come un buon isolamento dall'esterno possa rendere più duraturo l'effetto del riscaldamento o del raffrescamento dell'edificio.

5.4.2 L'inerzia termica ed il risparmio energetico

Dal punto di vista energetico, l'inerzia termica influenza i consumi dell'edificio soprattutto se gli apporti solari sono piuttosto alti. Infatti in tal caso si può accumulare la radiazione solare e contribuire al riscaldamento degli ambienti durante le ore serali e notturne.

Passando da un'inerzia debole ad un'inerzia forte come si è verificato con delle esperienze francesi, è possibile risparmiare dall'1.5% al 15% delle spese annuali di

riscaldamento, secondo le regioni climatiche, l'orientamento e le dimensioni dell'edificio.

5.5 L'orientamento dell'edificio le superfici vetrate(tipo,area ed orientamento)

L'orientamento verso sud è il migliore per due motivi:

- il lato sud riceve il massimo della radiazione in inverno
- in estate, quando invece si vogliono evitare surriscaldamenti il sole a sud è alto sull'orizzonte e l'edificio riceve meno radiazione.

La superficie ottimale delle vetrate sul lato sud è dell'ordine del 40% della superficie complessiva della facciata (alle nostre latitudini è sufficiente il 30%). Un aumento della superficie vetrata oltre il 50% della superficie complessiva della facciata sud non fa aumentare in modo significativo i guadagni solari in inverno ed influisce quindi in misura trascurabile sul fabbisogno termico, per contro in estate, si avvertirà un surriscaldamento temporaneo dei locali che riduce sensibilmente il benessere termico. Di contro, una riduzione della superficie vetrata al di sotto dell'optimum riduce il pericolo di surriscaldamento in estate, ma riduce anche l'illuminazione naturale e aumenta quindi i consumi energetici dell'illuminazione artificiale.

Anche le finestre orientate verso ovest richiedono una particolare attenzione. Non migliorano molto il bilancio energetico invernale, e in estate contribuiscono notevolmente al surriscaldamento, anche più di quelle orientate verso sud, devono quindi essere dotate di efficaci sistemi di ombreggiatura.

I telai delle finestre sono i componenti a maggiore dispersione dell'intero involucro. E' importante perciò che la percentuale di telaio sia ridotta al minimo

Le chiusure trasparenti influiscono sul controllo e sull'utilizzo della radiazione solare sia dal punto di vista del guadagno termico, sia per l'illuminazione naturale degli ambienti interni.

La definizione del tipo, dell'area e dell'orientamento delle superfici vetrate, costituisce una scelta progettuale molto importante visto che tali superfici influenzano la prestazione energetica dell'edificio, sia attraverso la loro trasmittanza ed i ponti termici che possono causare, sia attraverso gli apporti solari che si possono ottenere.

I parametri da valutare sono:

- la trasmittanza dell'elemento vetrato;
- il rapporto di vetrata esposta a sud, definito come rapporto tra l'area vetrata esposta a sud e l'area dell'ambiente riscaldato;
- la destinazione d'uso dell'ambiente.

Inoltre per garantire un adeguato livello di comfort sia dal punto di vista termico che visivo, bisogna progettare gli elementi vetrati in funzione di un opportuno controllo della radiazione solare e, ciò avviene considerando:

- la dimensione e geometria della superficie vetrata;
- le proprietà termofisiche ed ottico- solari dei materiali;
- le schermature;

Definire la geometria delle chiusure esterne trasparenti, significa definirne l'orientamento, l'area e l'inclinazione.

E' preferibile orientare la superficie vetrata a Sud o a Nord a seconda che la possibilità di sfruttare la radiazione solare diretta sia o meno compatibile con la destinazione d'uso dell'ambiente.

Sulle facciate esposte ad Est e ad Ovest bisogna sempre evitare ampie superfici vetrate.

L'area della superficie vetrata deve essere definita in base a considerazioni energetiche e di illuminazione naturale. Infatti non deve essere la causa di elevate dispersioni termiche notturne, e allo stesso tempo deve garantire durante il giorno un

buon livello di illuminazione naturale, se poi la superficie vetrata è esposta a Sud , bisogna accuratamente valutare la sua area in funzione del giusto apporto solare che garantisce il comfort termico sia durante la stagione invernale che durante quella estiva.

Le superfici vetrate esterne, specie nel caso di un edificio passivo, devono garantire apporti solari che controbilanciano le perdite giornaliere di calore per trasmissione. Devono avere elevate proprietà termoisolanti ($U < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) e una trasparenza che fa attraversare almeno lo 0.55% della luce incidente. Inoltre per evitare eventuali surriscaldamenti degli ambienti e, allo stesso tempo evitare un costo elevato, la superficie delle finestre esposte a Sud è da limitare a quella indispensabile per procurare gli apporti solari necessari.

Altro fattore molto importante è la scelta dell'opportuna inclinazione della superficie finestrata, visto che ciò influenza l'efficacia degli apporti solari. Così, per evitare la radiazione solare estiva, bisogna evitare di esporre le superfici vetrate orizzontalmente e preferire l'inclinazione verticale o, quella rivolta verso terra. Nel caso dei lucernai, che si rendono a volte necessari per garantire l'illuminazione naturale, questi richiedono un'opportuna schermatura, per questo spesso ai lucernai sono preferiti elementi tipo shed che, a prescindere dal loro orientamento, sono comunque meno sensibili alla radiazione solare estiva.

Quindi, il controllo della radiazione solare, si può effettuare tramite la scelta accurata del materiale che costituisce la superficie vetrata, in base alle sue proprietà termofisiche ed ottico- solari, così si possono distinguere:

- vetri colorati assorbenti: dotati di un elevato coefficiente di assorbimento termico, presentano il problema del surriscaldamento;
- vetri colorati riflettenti: dotati di una superficie esterna a specchio, evitano il surriscaldamento interno ma riducono

notevolmente l'illuminamento e causano problemi di abbagliamento nell'intorno;

- vetri con pellicole a bassa remissività: sono dotati di pellicole che riducono notevolmente la trasmissione luminosa e termica;
- componenti vetrati multistrato: si ottengono sovrapponendo strati di vetri in modo da combinare le caratteristiche di diversi materiali ed ottenere così un materiale dalle caratteristiche desiderate;
- materiale traslucido e isolante trasparente: si utilizza quando si vuole ridurre notevolmente la dispersione termica dell'apertura rinunciando, però, a buona parte dell'illuminazione;
- materiali elettrochimici: sono materiali le cui caratteristiche possono variare elettricamente, sono più efficienti dei materiali fotocromici o termocromici le cui prestazioni variano in funzione delle condizioni di luce e termiche.

La scelta del tipo di prodotto è effettuata in base alla destinazione d'uso dell'ambiente ed alle condizioni microclimatiche del sito

Le schermature, rappresentano un componente della chiusura esterna indispensabile a garantire il controllo totale della radiazione solare sia estiva che invernale.

Queste infatti consentono di evitare che la radiazione solare entri e provochi il surriscaldamento dell'ambiente.

Le schermature si possono distinguere in base alla geometria, alla posizione ed alla gestione .

Secondo la Distinzione geometrica, possono essere:

- Orizzontali: come possono essere le solette di balconi o soglie posizionate sulla facciata esposta a sud degli edifici situata a latitudini medio – alte in modo tale da impedire la radiazione

solare estiva nelle ore centrali e consentire l'apporto solare invernale

- Verticali: si tratta di pareti di logge incassate e doghe inclinate

Secondo la distinzione per posizione, possono essere:

- Esterne: evitano che la radiazione solare raggiunga la superficie del vetro riscaldandola, pertanto, sono molto più efficaci di quelle interne;
- Interne: possono garantire un sufficiente controllo della radiazione solare nei climi temperati e negli ambienti degli edifici residenziali la cui superficie vetrata è limitata; rispetto a quelle esterne, sono più pratiche e meno costose

Secondo la distinzione per gestione: possono essere fisse o operabili

Nel campo del controllo della radiazione solare attraverso schermature esterne, una funzione molto importante è rivestita dagli sporti orizzontali che consentono di evitare l'ingresso della radiazione solare solo durante la stagione estiva. I parametri principali che contribuiscono alla loro efficacia sono la loro profondità, l'altezza della finestra e l'altezza del sopraluce, in modo da garantire l'ombreggiamento durante i mesi estivi e lo sfruttamento della radiazione solare durante i mesi invernali.

5.6 L'impianto di riscaldamento

Il progetto di un edificio deve essere fatto sempre pensando ad un sistema edificio-impianto, cioè senza scindere il progetto architettonico da quello impiantistico.

Riguardo la scelta del tipo di impianto di riscaldamento, non si può precludere dalla valutazione di alcuni parametri:

- le condizioni climatiche e l'eventuale necessità di raffrescamento estivo
- il tipo di costruzione (tradizionale o con caratteristiche bioclimatiche)

- gli standard di riferimento da rispettare
- il fattore di forma dell'edificio;
- il grado di isolamento termico nonché il grado di tenuta e l'orientamento delle superfici opache dell'involucro;
- la presenza di schermature fisse o mobili, le prestazioni energetiche ed il grado di tenuta ed orientamento degli elementi trasparenti.

Definito il tipo di impianto più idoneo, si passa al calcolo del consumo energetico che esso comporta. In generale, gli impianti si distinguono a seconda del combustibile utilizzato.

5.6.1 Impianti termici con caldaia a gas o a metano

Possiamo distinguere come tipologie di caldaie:

- tradizionali,
- a condensazione,
- a bassa temperatura.

Il principale fattore per la scelta della caldaia è la sua efficienza che può portare ad un cospicuo risparmio energetico.

E' importante inoltre, che la caldaia sia dotata di un termostato posizionato negli ambienti riscaldati, che garantisca agli occupanti la temperatura.

Grazie all'utilizzo del sistema di controllo è possibile suddividere l'edificio in "Zone termiche" ed ottenere un risparmio energetico: le camere da letto possono essere riscaldate ad una temperatura più bassa rispetto a quella richiesta dalla cucina e dal soggiorno.

Ciò è particolarmente efficiente se le zone a bassa temperatura sono posizionate nell'area più a Nord dell'edificio, mentre la zona giorno è disposta lungo la facciata rivolta a sud. Con questi accorgimenti si ottiene un risparmio energetico non

indifferente considerando che per ogni grado di temperatura ridotto si ha un risparmio di circa il 7% sul consumo energetico.

Fattore tutt' altro che trascurabile è poi l'isolamento delle tubazioni : se l'ambiente in cui sono poste non è riscaldato, lo spessore dell'isolante deve essere pari ad almeno la metà del diametro della tubazione.

5.6.2 Il riscaldamento elettrico

L'efficienza degli impianti di riscaldamento elettrici è elevata ma, tale tipo di impianto comporta un consumo elevato di energia primaria.

5.6.3 L'utilizzo delle energie rinnovabili o di altri sistemi di risparmio energetico

I sistemi che possono migliorare la prestazione energetica di un edificio sono:

- riduttore del flusso d'acqua applicabili alla doccia, ai rubinetti, ecc..;
- riscaldamento dell'acqua tramite energia solare;
- muri di Trombe e serre;
- utilizzo di stufe a legna energeticamente efficienti;
- camini energeticamente efficienti;
- produzione di energia elettrica da sistemi fotovoltaici o da cogenerazione;
- sistema di riscaldamento distrettuale.

5.7 La ventilazione ed il raffrescamento passivo

Per raffrescamento passivo di un edificio si intende la capacità che questo possiede nel garantire adeguati livelli di comfort termoigrometrico estivo senza dover ricorrere ad energie esogene.

Le diverse tecniche di raffrescamento, radiativi evaporativo o con il terreno, devono essere sempre associate ad un'adeguata ventilazione dell'edificio, ventilazione che attraverso gli scambi di calore per convezione, genera sensazioni di raffrescamento a contatto con la pelle degli occupanti.

5.7.1 La ventilazione naturale

La ventilazione naturale consente di ottenere una buona qualità dell'aria interna attraverso una consapevole progettazione delle chiusure esterne. Tale progettazione deve essere finalizzata a sfruttare adeguatamente le condizioni climatiche del sito e la distribuzione interna degli ambienti.

Dal punto di vista energetico, le soluzioni più efficaci sono:

- 1) lo sfruttamento dei venti e delle brezze dominanti
- 2) la collocazione adeguata delle chiusure esterne e delle tramezzature;
- 3) l'adozione di serramenti che garantiscono adeguati ricambi d'aria di infiltrazione per evitare problemi di infiltrazione superficiale;
- 4) l'adozione di bocchette o di griglie di ventilazione regolabili inseriti nel serramento.

I principali fattori da considerare in fase di progetto sono :

- la posizione delle chiusure
- l'area di apertura
- il tipo e la geometria della chiusura
- la distribuzione degli spazi

a) Posizione delle chiusure

Il flusso d'aria all'interno di un ambiente si genera a seguito di un differenziale di pressione. Per cui si devono seguire delle regole fondamentali nel posizionare, in senso orizzontale e verticale le chiusure esterne permeabili:

per il posizionamento orizzontale

- per garantire una sufficiente ventilazione naturale, le chiusure devono essere poste sia sul lato sopravvento che su quelli sottovento;
- la ventilazione risulta efficace anche se le chiusure sono disposte su pareti contigue, purchè siano adeguatamente distanti;
- due chiusure collocate su pareti opposte tra loro ed ortogonali alla direzione del vento, non garantiscono una buona ventilazione passante;
- se la direzione del vento è obliqua rispetto alle pareti dell'edificio, la ventilazione passante è sempre garantita;

per il posizionamento verticale invece

- chiusure esterne permeabili collocate ad altezza d'uomo, garantiscono un buon raffrescamento corporeo;
- chiusure esterne permeabili collocate in prossimità del soffitto o del pavimento, garantiscono un buon raffrescamento dei relativi elementi strutturali;
- collocare la chiusura esterna più alta in posizione sottovento evita che i flussi d'aria per ventilazione da effetto camino e quelli generati dal vento entrino in conflitto.

b) Area dell'apertura

La superficie delle chiusure esterne permeabili presenti in un ambiente è il parametro che direttamente influenza il differenziale di pressione interno e, di conseguenza, la velocità del flusso. Per cui esso deve essere opportunamente definito in funzione del tipo di ventilazione che si vuole ottenere:

- se l'obiettivo è il ricambio d'aria, la superficie della chiusura d'ingresso deve essere superiore a quella della chiusura di uscita
- se si vuole ottenere un flusso d'aria tale da garantire il raffrescamento dell'ambiente, la superficie della chiusura di ingresso deve essere inferiore a quella della chiusura di uscita;
- se le superfici di ingresso e di uscita dell'aria hanno la stessa dimensione, l'aria interna ha la stessa velocità del vento.

C) Tipologia e geometria delle chiusure esterne permeabili

A seconda del tipo di chiusura e di schermi utilizzati, si ha una differente direzione del flusso:

Apertura con rotazione ad asse verticale

- Tipo di serramento a battente o a bilico verticale
- Area di apertura rispetto all'area di chiusura 90%

In questi casi la direzione del flusso d'aria può considerarsi in senso orizzontale

Apertura con rotazione su asse orizzontale

- Tipo di serramento a Wasistas o a ribalta con area di apertura rispetto a quella di chiusura del 30%
- Tipo di serramento a bilico orizzontale con area di apertura rispetto a quella di chiusura del 60%

In questi casi la direzione del flusso si può definire in senso verticale

Apertura scorrevole

- Tipo di serramento scorrevole verticale o scorrevole orizzontale
- Area di apertura rispetto a quella di chiusura del 50%

In tali casi si può definire una direzione del flusso verticale per lo scorrevole verticale ed una direzione del flusso orizzontale per lo scorrevole orizzontale

Apertura combinata

- Tipo di serramento a Wasistas bilanciato oppure a vasanta

- Area di apertura rispetto a quella di chiusura variabile dal 30% al 90%, a seconda del tipo di apertura adottata

In tali casi anche la direzione del flusso dipende dal tipo di apertura adottata.

Riguardo poi i flussi d'aria attraverso i vari tipi di schermi si possono distinguere:

- schermi esterni, che consentono di controllare sia la portata che la direzione del flusso;
- schermi interni, che consentono di controllare la direzione del flusso e di ridurre la velocità media nell'ambiente interno;
- Schermi ad anta a rotazione, che se non sono fissati al muro esterno in modo variabile, garantiscono molta flessibilità;
- Schermi ad anta scorrevoli, che consentono di regolare solo l'area di apertura
- Schermi a doghe verticali (orizzontale), che consentono di regolare la direzione del flusso d'aria in senso orizzontale (verticale);
- Schermi avvolgibili, che consentono di regolare la portata del flusso d'aria regolando l'area d'apertura.

d) distribuzione degli spazi

Un ulteriore fattore da considerare nell'ambito della ventilazione naturale degli ambienti, è la distribuzione degli spazi. Tenuto conto dell'orientamento dell'edificio e della direzione dei venti e delle brezze dominanti, gli ambienti devono essere disposti in modo da favorire sia la ventilazione passante che la ventilazione per effetto camino. Sono da evitare elementi (arredi e tramezzature) che ostacolano il flusso d'aria. Inoltre per garantire la qualità dell'aria, sarebbe opportuno disporre le cucine ed i servizi igienici sul lato sottovento e le zone giorno su quello sopravvento. In sezione, invece, si deve evitare che ambienti aventi apporti interni maggiori, trasferiscano il calore agli ambienti vicini; la cucina, ad esempio, sarà collocata al piano superiore.

5.7.2 La ventilazione meccanica

Se non si riesce a garantire un'opportuna qualità dell'aria interna attraverso la ventilazione naturale, si può ricorrere all'utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica controllata, dimensionati su una portata minima di 30mc/h per persona. Ovviamente, questi sistemi richiedono però l'ausilio di energie esterne per poter funzionare. In particolare gli impianti di ventilazione meccanica controllata, si distinguono in:

- impianti a semplice flusso autoregolabile: in cui le bocchette sono collocate sugli infissi, sulle porte o sulle pareti e sono dotate di dispositivo di autoregolazione legato al differenziale di pressione che si crea sulla bocchetta, queste a loro volta sono collegate ad elettroventilatori singoli o centralizzati;
- impianti a semplice flusso igroregolabile: in cui le bocchette, con sezione di passaggio dell'aria variabile in funzione dell'umidità relativa, sono collocate sugli infissi, sulle porte o sulle pareti e sono collegate ad elettroventilatori semplici o centralizzati;
- impianti a doppio flusso con recuperatore di calore statico: dove le bocchette interne di immissione sono collegate ad una piccola unità di trattamento dell'aria con recuperatore di calore.

5.7.3 Il raffrescamento radiativo

E' basato sullo scambio termico per irraggiamento che avviene tra un corpo e la volta celeste che, avendo la temperatura più bassa, costituisce un naturale pozzo termico. Il raffrescamento radiativo si definisce diretto o indiretto a seconda se lo scambio termico interessa l'involucro edilizio o uno specifico componente che, irradia calore verso l'esterno, raffredda il fluido destinato a raffrescare l'ambiente.

Tra i sistemi diretti vi è il sistema a Roof Pond caratterizzato da una massa d'acqua disposta sul tetto, avente la funzione di aumentare la capacità termica della copertura, e da un pannello isolante mobile. Questo è un sistema non molto diffuso in quanto pur essendo un sistema molto efficiente, richiede degli opportuni accorgimenti sia strutturali che di gestione.

Nel Roof Pond la chiusura dei pannelli isolanti durante il giorno evita l'irraggiamento della massa termica, durante la notte invece grazie alla rimozione dei pannelli isolanti, il calore accumulato nell'ambiente durante il giorno può essere disperso verso l'esterno per convezione ed irraggiamento.

Un sistema di raffrescamento radiativi più semplice prevede una lastra metallica radiante posta sulla copertura in modo da formare un'intercapedine d'aria, la lastra, avendo una elevata emissività, durante le ore notturne si raffredda sottraendo calore all'aria che viene poi immessa nell'ambiente.

5.7.4 Il raffrescamento evaporativo

Si basa sul principio secondo il quale l'acqua, durante il cambiamento di fase liquido-vapore, necessita di calore. Per cui quando l'acqua evapora, oltre ad aumentare l'umidità dell'aria, sottrae calore dai corpi circostanti che, di conseguenza, si raffreddano.

I sistemi di raffrescamento evaporativo si distinguono in:

- diretti: in cui l'aria raffreddata e umidificata per evaporazione dell'acqua entra direttamente nell'ambiente da raffrescare
- indiretti: in cui l'aria raffreddata è utilizzata per raffreddare a sua volta, per mezzo di uno scambiatore, l'aria interna.
- Tra i sistemi di raffrescamento evaporativo diretto il più diffuso è la TORRE DI RAFFREDDAMENTO ossia, un camino di ventilazione all'interno del quale l'aria esterna è raffrescata ed

umidificata grazie al contributo dell'acqua che viene inserita attraverso opportuni spruzzatori.

5.7.5 Il raffrescamento per scambio termico con il terreno

Tale sistema di raffrescamento sfrutta l'elevata inerzia termica del terreno dovuta al fatto che ad una certa profondità la temperatura del terreno è costantemente più bassa rispetto a quella dell'aria esterna estiva.

Il raffrescamento per scambio termico con il terreno può avvenire

- per contatto diretto: la struttura stessa è in parte o totalmente integrata con il terreno, ciò avviene grazie alla conduzione termica dovuta al contatto tra terreno freddo e struttura, soltanto che questo sistema difficilmente può essere applicato in zone in cui le temperature minime stagionali sono particolarmente basse, poiché si potrebbe avere un eccessivo raffreddamento degli ambienti.
- con scambio termico indiretto: si fa scorrere nel sottosuolo un fluido (aria o acqua) che una volta raffreddato sarà immesso all'interno dell'edificio. Non bisogna trascurare la necessità di integrare questi sistemi indiretti con un sistema di ventilazione opportunamente dotato di aperture di ingresso e di uscita dell'aria.

5.8 Illuminazione degli ambienti

La valutazione di tale parametro consente di conciliare l'esigenza di illuminazione degli ambienti, con quella del risparmio energetico, visto che i consumi energetici di un edificio dovuti all'illuminazione degli ambienti, dipendono da:

- l'efficienza dell'illuminazione naturale;
- l'efficienza dell'illuminazione artificiale.

Per cui si devono utilizzare tutti gli accorgimenti volti a sfruttare sia la luce diretta del sole che quella proveniente dalla volta celeste e dalla riflessione della stessa sulle superfici interne ed esterne.

Sono da considerarsi:

- un opportuno dimensionamento delle superfici vetrate;
- la zonizzazione degli ambienti in funzione della destinazione d'uso e quindi, del tipo e quantità di illuminazione;
- un adeguato studio della luce riflessa in funzione del colore delle superfici interne ed esterne.

Il livello di illuminazione naturale in un ambiente è solitamente calcolato applicando il metodo semplificato basato sul Fattore Medio di Luce Diurna.

Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, la progettazione consiste nella scelta oculata del tipo e della collocazione delle sorgenti luminose in modo da avere un illuminamento adeguato e ben distribuito degli ambienti.

La riduzione del consumo energetico si può ottenere con l'utilizzo di lampadine a basso consumo con le quali il consumo elettrico dovuto all'illuminazione si può ridurre fino al 70%.

5.9 Apporti Interni

Gli apporti interni sono dovuti essenzialmente alle sorgenti luminose, agli elettrodomestici, alle funzioni metaboliche degli occupanti, alle tubazioni degli impianti di riscaldamento ed alle eventuali pompe di calore collocate negli ambienti riscaldati.

Le normative europee che prevedono la valutazione di tali apporti nel bilancio energetico, forniscono delle tabelle contenenti i valori corrispondenti ad ogni contributo in funzione della dimensione dell'ambiente riscaldato. Oppure si può effettuare un calcolo in base all'area totale dell'edificio.

5.10 Apporti solari

Il contributo di tali apporti è dovuto alla radiazione solare che penetra nelle zone riscaldate attraverso le chiusure esterne trasparenti, essendo trascurabili i contributi dovuti alle frontiere esterne opache. Se invece tali contributi sono rilevanti in quanto vi sono componenti edilizi speciali, bisogna effettuare calcoli più dettagliati. In particolare i sistemi di captazione dell'energia solare si distinguono in attivi e passivi.

I SISTEMI ATTIVI:

Sono costituiti da elementi captanti (pannelli solari), sistemi di accumulo, pompe di calore ed elementi di controllo e distribuzione. Sono caratterizzati dall'impiego di sistemi di raccolta e distribuzione del calore che rendono tali sistemi ad elevato contenuto tecnologico. Questi sistemi vengono utilizzati prevalentemente per la produzione di acqua calda sanitaria; quindi il riscaldamento invernale è garantito solo in parte e con particolari condizioni climatiche dato che i sistemi di assorbimento non consentono di raggiungere elevati livelli di temperatura, mentre gli impianti di riscaldamento hanno bisogno che il fluido raggiunga una temperatura di almeno 40°/50°. Per un utilizzo più efficace di questi sistemi bisognerebbe escludere i tradizionali impianti di riscaldamento a radiatori ed adottare quelli a pannelli radianti o a ventilconvettori e a tutt'aria che però, se non progettati adeguatamente, possono provocare lo spostamento di polveri e batteri. Altro limite di questi sistemi è che si ha

bisogno di un sistema di accumulo di calore di notevoli dimensioni che comporta l'incremento del costo dell'impianto.

SISTEMI SOLARE PASSIVI :

Sono quelli in cui la principale fonte energetica è la radiazione termica, ed i flussi termici avvengono per effetto di fenomeni naturali quali l'irraggiamento, la conduzione e la convezione naturale. Quindi questi sistemi non necessitano di particolari installazioni impiantistiche finalizzate al convogliamento dei fluidi, ma è lo stesso edificio che impiega i suoi componenti per captare, convertire, accumulare, e distribuire il calore della radiazione solare. Per cui per progettare un sistema solare passivo, bisogna definire opportunamente la collocazione, l'orientamento e l'articolazione dell'edificio. In particolare gli edifici passivi si basano sul principio dell'effetto serra, in quanto la radiazione solare, trasmessa attraverso una superficie vetrata, è assorbita dagli oggetti interni all'ambiente che, scaldandosi, reirradiano l'energia termica con un'intensità maggiore di quella solare in modo da non poter passare all'esterno attraverso il vetro.

Gli elementi che compongono un sistema solare passivo, sono :

- 1) l'ambiente da riscaldare o raffrescare;
- 2) la parete vetrata rivolta sud (collettore);
- 3) una massa termica per l'assorbimento, l'accumulo e la distribuzione del calore.

I sistemi solari passivi sono solitamente classificati in base a:

- la posizione della superficie vetrata, che può essere sulla facciata, sulla copertura con o senza protezione oppure su elementi non facenti parte dell'involucro propriamente detto.
- Il meccanismo di cessione del calore, che può avvenire per guadagno diretto, indiretto o isolato.

5.10.1 Sistemi a guadagno diretto

Consistono nel disporre sui muri alcune superfici vetrate dimensionate ed orientate in maniera tale da garantire all'interno il riscaldamento richiesto. Tali superfici che sono di solito esposte a sud, permettono l'ingresso della radiazione solare direttamente nell'ambiente abitato, in particolare, le pareti ed il pavimento, che vengono investiti direttamente dalla radiazione solare, assorbono quest'ultima e la accumulano durante le ore diurne per poi rilasciarla durante la notte.

Nelle ore diurne la radiazione solare viene parzialmente assorbita e convertita in calore dal pavimento e dalle pareti, con conseguente aumento della temperatura dei corpi e cessione di calore all'ambiente. L'energia termica accumulata viene poi gradualmente rilasciata durante le ore notturne e le giornate con insolazione ridotta.

Il raffrescamento estivo si ottiene attraverso la schermatura dei raggi solari e la ventilazione notturna dei locali. Quindi, si devono prevedere delle schermature isolanti che possano ridurre le dispersioni di calore nelle ore notturne invernali e, al tempo stesso, evitare il surriscaldamento nelle ore diurne estive.

Questi sistemi a guadagno diretto hanno quindi bisogno di un attento studio architettonico che possa garantire una opportuna superficie vetrata rivolta a Sud, dimensionata in modo da evitare sia fenomeni di surriscaldamento che di deficit termico. In particolare è stato verificato che per poter garantire una temperatura interna compresa tra i 18 ed i 21°C :

- nei climi freddi ($-7^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$): $0.19\text{mq} < S_{\text{vetrata}} < 0.38\text{mq}$ per ogni metro quadro di superficie abitabile;
- nei climi temperati ($2^{\circ}\text{C} < T < 7^{\circ}\text{C}$): $0.11\text{mq} < S_{\text{vetrata}} < 0.25\text{mq}$ per ogni metro quadrato di superficie abitabile;

Nel caso in cui non sia possibile introdurre tali finestre solari, si può ricorrere all'utilizzo di shed di copertura che, sempre rivolti a Sud, possano garantire una sufficiente captazione della radiazione solare.

Risulta molto più arduo dimensionare la massa di accumulo finalizzata a garantire il comfort termico anche durante i periodi di mancata insolazione e allo stesso tempo ad

evitare il surriscaldamento degli ambienti. Per evitare ciò la progettazione deve integrare tutti gli elementi architettonici dell'edificio.

5.10.2 Sistemi a guadagno indiretto

Questi, prevedono la presenza di un'apposita massa termica che, interposta tra il sole e l'ambiente da riscaldare, trasmette il calore accumulato all'ambiente sia per irraggiamento che per convezione. Il fenomeno del trasferimento del calore per convezione si ha grazie ad aperture poste in alto ed in basso all'elemento accumulatore che hanno la funzione di connettere l'aria fredda interna con quella surriscaldata racchiusa nell'intercapedine d'aria. Durante le ore notturne poi l'ambiente interno è riscaldato grazie all'irraggiamento del corpo accumulante, il moto convettivo, non si innesca data la bassa temperatura dell'aria nell'intercapedine. Questi sistemi garantiscono un maggiore confort interno, rispetto ai sistemi a guadagno diretto, vista la possibilità di regolare il flusso termico. Pertanto è possibile ridurre sia il rischio di surriscaldamento, che le fluttuazioni della temperatura interna.

Tra i sistemi di riscaldamento passivo, si possono annoverare:

- il Muro di Trombe;
- il Roof Pond;
- le serre addossate.

a) IL MURO DI TROMBE

È composto da una superficie trasparente, posta a dieci o più centimetri da un muro avente la faccia esterna di colore scuro, con la funzione di assorbitore e di accumulo. L'intercapedine d'aria che separa la superficie trasparente dal muro, serve ad accumulare e distribuire il calore attraverso le aperture poste in alto ed in basso. Così, durante il giorno, l'ambiente interno viene riscaldato sia attraverso il calore trasmesso per conduzione verso l'interno che attraverso la circolazione dell'aria

presente nell'intercapedine che si è riscaldata per convezione a seguito del calore ceduto dal muro.

Invece durante le ore notturne per evitare che l'aria fredda entri nell'ambiente, le aperture in basso devono essere chiuse, e, il trasferimento di calore avviene solo per conduzione.

b) IL ROOF POND

Questo sistema prevede la collocazione in copertura di una massa d'acqua che abbia al contempo la funzione di assorbitore e di accumulo. Tale sistema è stato concepito per captare la radiazione solare soprattutto durante i mesi estivi, e comunque nei climi caldi, dove le superfici orizzontali hanno la possibilità di essere irradiate. Durante il giorno, l'acqua che è contenuta in appositi recipienti, dopo esser stata riscaldata, trasferisce il calore al solaio che, avendo un'elevata conducibilità termica, lo cede per irraggiamento all'ambiente sottostante.

Durante le ore fresche notturne, per ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno, i recipienti d'acqua sono coperti da pannelli isolanti.

Invertendo quindi la modalità d'uso dei pannelli isolanti, si può utilizzare il sistema Roof Pond sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo.

c) SERRE ADDOSSATE

Sono anche definite degli spazi tampone visto che consentono di separare gli ambienti ai quali sono addossate, dall'ambiente esterno. Questi spazi, non sono controllati dal punto di vista termico essendo la temperatura dell'aria al loro interno dipendente da molti fattori (condizioni esterne ed orientamento, dimensioni e caratteristiche della superficie trasparente, della parete e del pavimento). Questi componenti hanno la duplice funzione di:

- ridurre le dispersioni di calore attraverso la parete a cui sono addossati,
- accumulare la radiazione solare.

Il pavimento e la parete divisoria tra la serra e l'ambiente interno costituiscono la massa d'accumulo in quanto assorbono la radiazione solare che nelle ore diurne invernali penetra attraverso la superficie vetrata.

d) SISTEMI A GUADAGNO ISOLATO

Si tratta di un sistema costituito da una superficie vetrata captante e da un accumulatore posti in maniera distaccata rispetto allo spazio che deve usufruire del guadagno solare. Per cui il sistema funziona durante tutto il periodo di soleggiamento, mentre l'ambiente usufruisce del calore solo quando se ne ha la necessità. Il sistema più diffuso è il circuito a convezione naturale, costituito da un collettore piano e da un serbatoio termoaccumulatore che generano il circolo di un mezzo termovettore (aria o acqua).

5.11 Bilancio energetico

Per poter valutare il fabbisogno energetico di un edificio, bisogna analizzare tutti i fenomeni che ne influenzano il comportamento termico ed effettuare un bilancio energetico che consideri le interazioni energetiche tra l'ambiente da riscaldare e l'ambiente esterno in modo tale da effettuare un corretto dimensionamento dell'impianto di riscaldamento e/o di raffrescamento. Questo bilancio energetico tiene conto dell'energia ceduta e di quella acquisita in funzione sia delle caratteristiche termofisiche dell'involucro, sia della condizione climatica del sito.

Il bilancio energetico di un edificio, comprende:

- 1) le dispersioni , sia verso l'esterno che verso i locali adiacenti, per:
 - trasmissione attraverso le strutture opache;
 - trasmissione attraverso le chiusure esterne trasparenti
 - infiltrazione d'aria e ventilazione;
- 2) gli apporti solari;
- 3) gli apporti interni;

- 5) il contributo dovuto all'impianto di riscaldamento o di raffrescamento.

Il calcolo del fabbisogno energetico di un edificio può essere effettuato in diversi modi, ma il più sviluppato ed utilizzato è quello riguardante il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti di energia, che considera solo in parte gli apporti solari e quelli interni in quanto una loro percentuale viene dispersa a seguito della differenza di temperatura fra interno ed esterno.

Si possono distinguere sette fasi per il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento di un edificio:

- 1) individuazione delle zone termiche nel caso in cui ci siano ambienti non riscaldati o a temperature differenti;
- 2) calcolo delle dispersioni termiche e dei ponti termici attraverso le frontiere;
- 3) calcolo dei flussi termici per trasmissione e ventilazione;
- 4) calcolo degli apporti termici solari ed interni;
- 5) definizione del fattore di utilizzazione degli apporti;
- 6) calcolo del fabbisogno energetico mensile di ciascuna zona, come differenza fra le dispersioni e gli apporti;
- 7) calcolo del fabbisogno energetico annuale dell'edificio, come somma dei contributi mensili di ogni zona termica.

In base al valore del fabbisogno energetico annuale si può avere una diversa classe di edificio:

CLASSI	CONSUMO ENERGETICO KWh/mqa
Edifici tradizionali non ancora rispondenti alle normative sul risparmio energetico	150-240

Edifici che corrispondono alle normative	80-120
Edifici a basso consumo energetico	25-60
Edifici passivi	<15
Edifici a consumo energetico zero, costruiti prevalentemente a scopi sperimentali	0

Il carico termico invernale

E' la potenza termica dell'edificio che, in precisate condizioni univocamente definite, disperde nell'ambiente esterno.

Nella trattazione sui carichi termici invernali, non ci si occupa degli aspetti idrometrici e di quanto altro attiene al vapor d'acqua (fenomeni di condensazione, calore latente, ecc...), si affrontano cioè le sole problematiche legate al cosiddetto calore sensibile, ossia agli scambi di calore che manifestano i loro effetti sulla sola temperatura di bulbo asciutto dell'aria interna.

L'ambiente interno di un edificio è considerato come sistema termodinamico costituito dal volume d'aria racchiuso dall'involucro edilizio;

tale sistema è di tipo aperto avendo in generale scambi di massa tra l'ambiente interno e l'esterno attraverso aperture di varia natura sulla superficie di confine.

Si dimostra che gli scambi termici tra l'edificio e l'ambiente esterno attraverso l'involucro edilizio causano una variazione della temperatura dell'aria interna. Anche se nella realtà gli edifici permettono sempre scambi di massa con l'esterno (volontari, climatizzazione, ventilazione oppure volontari, infiltrazioni), si suppone per semplicità che l'edificio possa essere considerato come un sistema chiuso, s'ipotizza inoltre che in inverno al suo interno, ci si trovi in condizioni di benessere, e che si voglia mantenere costante la temperatura durante il periodo di occupazione. Si può pensare ad esempio di fornire calore al sistema mediante un impianto di riscaldamento (Q_i) uguagliando quello disperso dalla struttura (Q_u). In tal modo si mantiene nullo lo

scambio di calore complessivo e risulterà nulla la variazione di temperatura al suo interno.

Le ipotesi da farsi nel calcolo del carico termico invernale sono:

- 1) REGIME TAZIONARIO (i fenomeni che avvengono sono indipendenti dal tempo): si considerano come costanti nel tempo le grandezze fisiche che in realtà non lo sono; tale ipotesi, così distante dalla realtà, ha senso in quanto:
 - si indaga su un fenomeno che abbia durata temporale significativamente ampia al punto tale da poterci far considerare un regime quasi stazionario.
 - Il flusso termico viene determinato con formule algebriche evitando le problematiche del regime transitorio.
- 2) SOLLECITAZIONE TERMICA PIU' GRAVOSA: si considera in ogni circostanza la condizione più sfavorevole infatti la normativa vigente considera tra le condizioni possibili quella che statisticamente è più sfavorevole; in tal modo si è sempre sicuri di ottenere il risultato desiderato, ossia si mantiene un prefissato livello di temperatura nell'ambiente interno quando all'esterno si verificano le condizioni climatiche più avverse.

Carico termico per ventilazione

Il carico termico per ventilazione deriva dal continuo trasferimento dell'aria calda dall'interno all'esterno dell'edificio a causa dell'imperfetta tenuta degli infissi o per la presenza di apparecchiature che provvedono al ricambio d'aria per motivi igienico-tecnologici. Stando alla norma UNI 10339 è possibile calcolare il carico termico per ventilazione con :

$$Q_v = nV\rho_a C_{pa}(t_i - t_e)$$

Dove

- n= Numero di ricambio d'aria orario(variabile in funzione della destinazione del locale, per le residenze si assume pari a 0,5);

- V = volume d'aria contenuto nei locali;
- ρ = densità d'aria secca (la UNI 10339 suggerisce di assumerla pari a 1,225 Kg/mc per condizioni normali, temperatura intorno ai 15°C, benché vari con la temperatura)
- C_{pa} Calore specifico d'aria secca a pressione costante (1,005KJ/KgK)

5.12 La condensazione del vapor d'acqua nelle strutture edilizie

Il problema della condensazione del vapor d'acqua, sia che avvenga sulle superfici delle strutture, sia che avvenga all'interno delle stesse, rappresenta un rischio sotto un duplice aspetto: quello legato alla conservazione delle strutture e quello legato alla salubrità degli ambienti.

Non è raro infatti imbattersi nella formazione di muffe, o assistere alla disgregazione di intonaci e murature proprio a causa dei fenomeni suddetti.

In anni relativamente recenti la necessità di contenere le dispersioni termiche ha favorito l'adozione indiscriminata di serramenti dotati di ottima tenuta all'aria che, in assenza di ventilazione meccanica, ha però comportato una sensibile riduzione della ventilazione naturale con conseguente ulteriore aggravio del problema in esame causato dall'aumento dell'umidità presente nell'aria e nell'ambiente.

E' poi molto diffuso l'uso nelle cucine di cappe filtranti, prive di collegamenti a condotti di espulsione, che al vantaggio della libertà compositiva dell'arredamento della cucina contrappongono lo svantaggio dell'immissione di grandi quantità di vapore in ambiente a seguito della cottura dei cibi. La formazione di condensa, fenomeno tipico delle strutture poco isolate (ponti termici), può peraltro manifestarsi anche in presenza di strutture ben isolate dove però la collocazione dello strato isolante è malposta rispetto alla permeabilità degli strati rimanenti.

Occorre inoltre porre attenzione a non confondere fenomeni di condensazione con quelli dovuti alla presenza di strutture ben isolate dove però la collocazione dello strato isolante è malposta rispetto alla permeabilità degli strati rimanenti.

Occorre inoltre porre attenzione a non confondere fenomeni di condensazione con quelli dovuti alla presenza di infiltrazioni d'acqua, per esempio per risalita capillare dal terreno, per pioggia battente, per rottura di tubazioni idriche, ecc..

Per quanto sopra detto si intravede la complessità della trattazione del fenomeno, la cui risoluzione dipende comunque dalla esatta comprensione delle cause che lo determinano.

Come si ricorda dalla trattazione delle miscele d'aria secca e vapor d'acqua, la condensazione del vapor d'acqua si verifica quando la pressione parziale dello stesso raggiunge la pressione di saturazione, quest'ultima funzione della temperatura (temperatura di condensazione o di rugiada); a parità di temperatura, più alto è il contenuto di vapore, e quindi più alta l'umidità relativa, maggiori sono i rischi della formazione di condensa (la condensazione può manifestarsi anche in presenza di modesti raffreddamenti dell'ambiente).

Per quanto attiene le resistenze superficiali al passaggio di vapore, queste possono essere ritenute del tutto trascurabili a fronte della resistenza offerta dagli altri componenti edilizi, pertanto la pressione parziale del vapore sulle facce interna ed esterna del componente si assumono eguali alla pressione parziale del vapore dell'aria a contatto della superficie.

Il flusso di vapore ha luogo quando si crea un differenziale di pressione; il verso del flusso va dagli ambienti più caldi a quelli più freddi (al maggior contenuto di vapore dei primi corrisponde una maggiore pressione), e quindi si verifica generalmente dall'interno verso l'esterno degli ambienti sia nei mesi estivi che invernali.

In generale si rileva che la condensazione interna non ha luogo nelle pareti omogenee ma in quelle multistrato. In particolare si osserva che se lo strato rivolto verso l'ambiente caldo è più ricco di vapor d'acqua presenta una maggiore conducibilità termica; in tal caso la pressione parziale del vapor d'acqua P_v raggiunge valori elevati in zone della parete che (a causa della bassa resistenza termica) si trovano a temperature relativamente basse e di conseguenza con valori della pressione di

saturazione P_s molto modesti: tali zone si considerano pertanto ad elevato rischio di condensazione. Il problema, può essere affrontato disponendo uno strato isolante verso il lato freddo (isolamento a cappotto), innalzando così il valore della temperatura e quindi della pressione di saturazione; in alternativa, ma solo nei casi altrimenti non risolvibili, si può disporre una *barriera al vapore* verso il lato caldo della parete e quindi abbassando il valore della pressione parziale del vapore.

Le barriere al vapore sono costituite da materiale di spessore sottile, aventi valori di permeabilità fino a 100.000 volte inferiori a quella dell'aria; tipiche barriere al vapore sono costituite da fogli di polietilene, cloruro di vinile, cartongesso bitumato, guaine bituminose usate come impermeabilizzanti nelle coperture, ecc..

Per valutare il rischio di condensa si può percorrere la strada analitica attraverso la legge di Fick determinando la quantità di vapore eventualmente condensato, oppure si può risolvere il problema graficamente ricorrendo al *Diagramma di Glaser*, che consiste nel rappresentare unitamente all'andamento dei valori della temperatura all'interno della struttura anche i relativi valori della pressione di saturazione; confrontando questi ultimi con i valori delle pressioni parziali si è in grado di stabilire, seppure con un grado di incertezza piuttosto elevato, la possibilità di rischi di condensazione.

5.12.1 Il diagramma di Glaser

Applichiamo il procedimento per la costruzione del diagramma di Glaser all'esempio della parete, si calcola il valore della pressione parziale del vapore nelle condizioni di saturazione P_s in corrispondenza della superficie di ogni strato di materiale, in funzione della temperatura superficiale di ogni singolo strato utilizzato si calcola il valore degli spessori equivalenti di ogni singolo strato di materiale, definiti come il prodotto dello spessore reale del materiale per il corrispondente valore della resistenza al passaggio del vapore del relativo materiale, si calcola il valore della pressione parziale del vapore corrispondente alla superficie interna ed esterna della

parete per i relativi valori di umidità relativa e di temperatura, è quindi possibile disegnare il diagramma in opportuna scala e verificare la presenza di eventuale formazione di condensa all'interno della parete.

Come già accennato, il problema può essere risolto operando in diverse maniere, per esempio disponendo una barriera al vapore, oppure disponendo uno strato isolante verso il lato freddo, facendo cioè un isolamento a cappotto, innalzando così il valore della temperatura e quindi della pressione di saturazione.

5.13 Le caratteristiche richieste “materiali bio-edili” :

- basso grado di manipolazione della materia prima;
- assenza di radioattività;
- antistaticità e ridotta conducibilità elettrica;
- elevata inerzia termica;
- permeabile alle microonde;
- permeabile al vapore acqueo e all'aria;
- assenza di emissioni nocive;
- resistenza al fuoco;
- assenza di fumi nocivi e tossici in caso di incendio;
- stabilità nel tempo, inattaccabilità da muffe ed insetti;
- gradevolezza al tatto, alla vista e all'odorato.

L'attenzione posta sulla questione ambientale ha poi richiesto l'introduzione di altri due parametri:

- effetto sull'ambiente, cioè consumo di risorse, produzione di rifiuti, riciclabilità e recuperabilità;
- consumo di energia durante l'intero ciclo di vita.

5.13.1 Sintetiche indicazioni per la scelta dei materiali in edilizia

Le indicazioni sui materiali dal punto di vista bio-edile sono le seguenti :

Per i materiali lapidei:

Per usare i materiali lapidei nelle abitazioni è necessario verificare il rischio di emissioni di Radon e adottare opportuni accorgimenti per limitare i problemi legati alla conduttività termica ed all'inibizione dell'acqua.

Legno

E' il materiale da costruzione che possiede maggiori qualità bio-edili (alto potere isolante, elettrostaticamente neutro e buon regolatore dell'umidità), ma nello stesso tempo è uno dei materiali più sotto accusa.

Uno degli argomenti sul quale si fa più confusione è relativo all'idea che non utilizzando il legno si risparmiano le piante e dunque si "protegge l'ambiente". Questa affermazione si è accompagnata nell'edilizia all'utilizzo sempre più esteso di materiali sostitutivi al legno ed apparentemente più efficienti, quali metalli, materiali sintetici, plastiche. Invece la produzione e l'utilizzo di tutti questi materiali comporta effetti antropici (cioè di degrado) molto pronunciati ed una dissipazione molto più intensa di energia rispetto a quella richiesta per l'utilizzo del legno.

Laterizio

Materiale italiano per eccellenza, esempio tipico della nostra tradizione costruttiva, ha ottime proprietà isolanti e termoregolatrici, ed è igroscopico e permeabile all'aria ed al vapore. Le sue proprietà bio-edili dipendono dalla qualità dell'argilla impiegata (che non deve provenire da zone vulcaniche) e dalla sua purezza (deve essere priva di scarti di industria o additivi chimici).

Terra cruda

Più diffusa di quanto non si sappia , questa tecnica costruttiva è stata impiegata in Italia in alcune zone rurali. Essa è costituita di argille miste a limo e sabbia e la sua struttura si differenzia in rapporto alla granulometria dei componenti. I componenti edili in terra cruda sono traspiranti , igroscopici, permeabili al campo magnetico naturale, esenti da fenomeni di accumulo di elettricità statica.

Calcestruzzo armato

Il suo uso dovrebbe essere limitato. Secondo i criteri bio-edili, può essere impiegato al più in strutture trave-pilastro; sarebbero da evitare, invece, solette e tamponature prefabbricate. Gli inconvenienti che presenta infatti, sono numerosi: scarsa porosità e permeabilità, elevata conduttività termico-acustica ed elevata igroscopicità. Ancor più problematico è l'impiego se al cemento sono aggiunti additivi a base polimerica. Inoltre il calcestruzzo armato è accusato dai geo-biologi di avere un effetto parzialmente schermante dai campi elettromagnetici naturali.

La schermatura viene ritenuta totale a causa dell'effetto "gabbia di Faraday" dovuto all'armatura metallica che scherma il campo magnetico naturale: le onde a bassa frequenza (da 1 a 10 Hz) che svolgono importante funzione regolatrice dell'organismo umano non riescono a penetrare negli ambienti.

Vetro e alluminio

Sono prodotti da minerali comuni, ma richiedono grande dispendio energetico. Peraltro offrono notevoli vantaggi, come la totale riciclabilità, la pulibilità, l'assenza di inquinamento interno, l'accumulo del calore radiante e la curabilità.

Per quanto riguarda i prodotti, intermedi o di finitura, la scelta è la seguente:

Materiali isolanti.

Sono preferiti quelli di origine vegetale: pannelli di fibra di legno, sughero di fibra di cocco, fibra di juta, lastre di fibro-legno legato con sali di magnesio, fibre di cellulosa, paglia e torba. Sono accettati anche quelli di origine minerale: perlite espansa, vermiculite espansa, argilla espansa e pomice naturale.

Barriera al vapore.

La barriera al vapore di materiale plastico non è accettata perché l'involucro dell'edificio deve consentire la traspirazione.

Impermeabilizzanti

Il polietilene è giudicato positivamente perché consente di sigillare il solaio a terra sia nei confronti dell'umidità che nei confronti dei radon perché, applicato come strato indipendente, a secco, consente la circolazione di acqua nel sottofondo.

Altrimenti, in generale, si preferiscono materiali naturali, eventualmente spalmati o impregnati con sostanze impermeabilizzanti oppure che consentano l'assorbimento ed il rilascio di umidità regolandone ciclicamente il contenuto negli ambienti.

Tra i primi sono considerati buoni le lastre di fibrolegno non trattato o trattato con resine naturali, il cartone di cellulosa e i feltri di lana; sono considerate accettabili le medesime lastre impregnate con asfalto.

Adesivi

Le colle costituiscono uno degli elementi a maggior rischio per la qualità dell'aria: se contengono sostanze di origine chimica emettono composti volatili tossici o nocivi; se di origine naturale, sono facilmente attaccabili da muffe e miceti e danno luogo a inquinamento biologico; se a base minerale possono assorbire e trattenere l'umidità. Esistono poi nuovi collanti a base naturale di diverse composizioni, adatti alla posa di carte da parati, pavimenti in legno e ceramici

Sigillanti

E' preferita la calcina, costituita da una miscela di calce e/o cemento, sabbia e acqua.

Materiali da rivestimento

Il rivestimento può essere a lastre e in tal caso si preferisce il sistema a facciata ventilata, oppure di intonaco.

Tra le lastre si preferiscono le pietre naturali, il clinker, le piastrelle di ceramica; meglio ancora i lapidei in strato sottile. Tra gli intonaci sono preferiti quelli di calcare o cemento o di calcare-cemento.

Una buona intonacatura con calcare può durare anche 40/60 anni. E' molto apprezzata la calce idraulica naturale, per le sue proprietà disinfettanti e perché regolatore igrotermico. Sono sconsigliati tutti gli intonaci sintetici.

Materiali da pavimentazione

Alcuni materiali naturali, sono adatti anche per pavimentazioni. I materiali lapidei e i laterizi; questi materiali hanno tutti buone proprietà igrotermiche.

Sono considerati bio-edili anche:

- il sughero, dalle buone proprietà isolanti, ricavato dalla corteccia senza danneggiare l'albero e riproducibile ogni dieci anni.
- Il linoleum, costituito da elementi naturali , olio di lino, resine naturali(colonia), yuta,sughero,pigmenti naturali.

5.14 Utilizzo del verde: Effetto estetico e climatico

Per ridurre ulteriormente i flussi termici nei periodi estivi si possono utilizzare le piante; infatti vi è sottrazione di calore all'ambiente dovuta alla trasformazione di

calore sensibile in energia chimica per effetto di fotosintesi. In ogni caso l'equilibrio che si stabilisce dipende da innumerevoli fattori legati alle caratteristiche degli spazi esterni. La vegetazione presente su un territorio si comporta nei confronti della ventilazione come un ostacolo, ed è quindi in grado di modificare velocità e direzione del vento. Il grado ed il tipo di modifica dipendono da numerosi fattori legati prevalentemente alle dimensioni fisiche della vegetazione, sia per quanto riguarda la singola essenza sia per quanto riguarda la combinazione e la configurazione delle varie essenze, sia per la densità dell'insieme. In questo modo il verde agisce indirettamente sul livello di umidità in quanto produce ombra ed ostacola il vento. Ad esempio essenze sempreverdi impediscono il soleggiamento del terreno sia in inverno che in estate e diminuiscono la ventilazione; di conseguenza l'acqua contenuta nel terreno, non potendo evaporare, tende a ristagnare.

L'esigenza di salvaguardare l'ambiente e di un utilizzo razionale delle risorse, hanno affermato in particolare il principio di recupero dell'esistente incentivandolo rispetto alla realizzazione di nuove costruzioni ed all'impiego di suolo non edificato. Il riscaldamento dell'ambiente in conseguenza dell'effetto serra, la crisi delle risorse energetiche mondiali e la necessità di contenere i consumi hanno determinato la necessità di un recupero sostenibile.

5.15 Gli edifici passivi

I cosiddetti edifici passivi sono caratterizzati da perdite di calore così basse che il calore fornito dagli apporti solari (attraverso le finestre e le vetrate esposte a sud) e quello prodotto e recuperato da sorgenti interne (persone, apparecchiature, macchinari, illuminazione artificiale) può coprire quasi tutta l'energia necessaria per il riscaldamento invernale; il fabbisogno energetico residuo da coprire è inferiore ai 15 kWh/mqanno

- È quindi ridotto al minimo l'intervento di "impianti attivi" cioè azionati da energia (sono assenti del tutto le caldaie e gli split di condizionamento estivo);
- Invece è massimo lo sfruttamento dell'insolazione e delle fonti gratuite interne di calore (da lampade a bassissimo consumo, da elettrodomestici ad alta efficienza, dallo stesso corpo umano degli abitanti);
- È massimo il recupero di calore dell'aria esausta in uscita con scambiatori ad elevato rendimento.

In un edificio passivo viene a crearsi conflitto tra buona ventilazione e risparmio energetico: più ventilazione significa meno risparmio energetico. Si pone quindi il problema della definizione del ricambio d'aria ottimale, generalmente si ritiene necessario un ricambio d'aria , in volume, compreso tra 0,4 e 0,8/h, ma alcuni autori ritengono sufficiente, per un edificio passivo, un tasso di ricambio dello 0,25-0,37/h.

Un'appropriata ventilazione, meccanica o naturale, consente, miscelando l'aria interna all'ambiente e realizzandone un'indispensabile ridistribuzione, di rimuovere o diluire i contaminanti e di ottenere la qualità desiderata.

Negli ambienti residenziali il valore del ricambio d'aria è limitato in basso alla necessità di smaltire, in condizioni normali, gli odori corporali, gli inquinanti endogeni di origine umana e l'umidità: tuttavia tale valore può risultare inadeguato in situazioni particolari, ad esempio nel caso di rilascio del radon dal terreno, di uso di apparecchi di combustione , in presenza di molti fumatori ecc..

5.15.1 La Casa Passiva nelle regioni mediterranee

Negli ultimi 10-15 anni si è potuto osservare un forte aumento dei consumi di energia in tutta l'Europa, ciò essenzialmente per la diffusione degli impianti tradizionali di raffrescamento estivo dell'aria, la riduzione dei consumi per il raffrescamento estivo quindi è un problema importante cui si possono dare diverse soluzioni:

- miglioramento del microclima locale con interventi sull'ambiente urbano (aree verdi, pozzi di raffreddamento.....)
- ristrutturazione degli edifici urbani per l'adattamento alle specifiche condizioni ambientali delle metropoli, al fine di incorporare misure di risparmio energetico che bilancino le sfavorevoli condizioni termocinetiche urbane; indicativamente: opportuno dimensionamento delle finestre, opportuno isolamento dell'involucro edilizio, promozione di impianti di controllo dell'aria e luce, promozione di impianti solari, promozione degli impianti di raffrescamento estivo;
- uso di sistemi di condizionamento a livello di edificio ottimizzati per l'esercizio con temperatura ed umidità tipicamente urbane;
- uso di sistemi centralizzati di produzione, gestione e distribuzione del raffrescamento.

Inoltre è da dire che nessuna delle precedenti misure va intesa come iniziativa isolata, ma la stretta correlazione tra i parametri che contribuiscono a definire il rendimento energetico di fabbricati inseriti nel contesto urbano richiede che le varie iniziative siano coordinate in un approccio integrato.

La peculiarità delle case passive nei climi caldi è di avere un buon comportamento termocinetico anche nel periodo estivo.

L'involucro dovrà quindi essere in grado di isolare l'interno dall'esterno durante le ore calde diurne e dovrà smaltire durante la notte il calore diurno accumulato dalle pareti.

Tutte le realizzazioni sono basate su tre principi:

- 1) minimizzare i guadagni di calore esterni ed interni
- 2) modulare e sfasare nell'arco della giornata i guadagni di calore
- 3) rimuovere il calore.

5.15.2 L'involucro Edilizio

L'involucro di un edificio passivo deve soddisfare la condizione di trasmittanza $U < 0,15 \text{ W/mq}^\circ\text{K}$

Per ottenere questo valore occorre

- uno strato termoisolante dello spessore dell'ordine di 25 cm sui muri perimetrali
- uno strato termoisolante nell'ordine di 40 cm sui tetti;
- finestre con caratteristica di trasmittanza termica $U < 0,8$
- Assenza di ponti termici
- Finestre montate all'estradosso della parete, in modo che l'isolamento termico copra almeno una fascia di 5 cm. del telaio.

Il relativo incremento di costo dello spessore della coibenza termica è compensato dai risparmi energetici in fase di esercizio dell'edificio e dai minori costi per l'impianto di riscaldamento per cui:

- tutti gli elementi solidi, pilastri ed architravi in cemento armato, pareti di tamponamento ecc., devono trovarsi all'interno dell'involucro termico;
- ai collegamenti tra elementi costruttivi deve essere prestata particolare attenzione;
- finestre e porte esterne devono essere inserite usando speciali accorgimenti costruttivi,
- balconi, terrazzi e gronde non devono avere contatto con le strutture che si trovano all'interno dell'involucro termico; non sono vietati ma, devono essere elementi strutturali a se stanti.

Lo strato termoisolante, nel periodo estivo, impedisce il surriscaldamento delle strutture dell'edificio e di conseguenza dell'ambiente interno. Un eventuale surriscaldamento può verificarsi a causa dell'irraggiamento solare che entra attraverso le finestre, problema evitabile utilizzando validi sistemi ombreggianti.

Un isolamento a cappotto è una buona soluzione per ridurre i consumi energetici invernali. La massa pesante, rivolta verso l'ambiente interno dell'edificio, è in grado

di accumulare calore durante la giornata (quando il riscaldamento è acceso) e di cederlo nuovamente all'ambiente interno durante la notte, quando il riscaldamento è attenuato. Un isolamento a cappotto permette inoltre una forte riduzione dei ponti termici.

5.16 Il benessere termoigrometrico

La maggior parte della propria vita le persone la trascorrono all'interno degli edifici: si comprende dunque come il microclima interno degli ambienti confinati assuma grande importanza sulla salute dell'uomo.

A determinare il benessere della persona subentrano diversi parametri quali la temperatura, l'umidità, l'abbigliamento, l'attività svolta.

Valori indicativi di benessere microclimatico:

Stagione	Temperatura dell'aria	Umidità relativa	Velocità dell'aria
Inverno	19-22 °C	40-50%	0,05-0,1 m/s
Estate	24-26 °C	50-60%	0,1-0,2 m/s

Conduzione - convezione e irraggiamento possono creare effetti negativi o positivi a seconda della temperatura dell'aria e degli oggetti che ci circondano.

La sola presenza continua dell'uomo in un ambiente può alterare profondamente le caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria trasformandola in aria viziata. Per consentire una diluizione di queste impurità all'interno degli ambienti è necessario intervenire con adeguati ricambi d'aria.

Il tasso di ricambio d'aria viene calcolato rapportandolo al volume d'ari contenuto nell'ambiente confinato. L'unità di misura è (Mc/mch) ad esempio un tasso di ricambio d'aria pari a $0,5 \text{ h}^{-1}$ significa che in 1 ora viene ricambiata la metà dell'aria contenuta nell'ambiente confinato

Numero di ricambi d'aria ottimali per diversi ambienti confinati:

Ambiente	Ricambi/ora
Abitazioni	0,5-1
Uffici privati	1-2
Stanze di degenza ospedaliera	2-3
Aule scolastiche, luoghi di riunione, uffici pubblici	4-5
Stabilimenti, ristoranti, discoteche	6-8
Locali con produzione di vapori e odori	8-10
Sale operatorie	10-15

Capitolo 6

I componenti dell'involucro edilizio e la loro rispondenza alle esigenze energetiche

6.1 Il vetro:

I modi in cui avviene il passaggio di calore attraverso una lastra di vetro singolo, sono sostanzialmente tre: per irraggiamento, conduzione e convezione.

Il passaggio di calore attraverso il vetro avviene non soltanto attraverso i diversi fenomeni di trasmissione già spiegati in precedenza, ma anche in base alla caratteristica del vetro di essere trasparente alla radiazione solare. In particolare, sono determinanti non solo il coefficiente di trasmissione nelle diverse aree dello spettro dell'energia radiante, ma anche il coefficiente di assorbimento e l'orientamento delle facciate stesse.

Inoltre il fenomeno convettivo/radiativo di trasmissione del calore tra la superficie esterna del vetro e l'ambiente esterno varia in modo sensibile in funzione delle caratteristiche ambientali circostanti: forma e colore degli edifici adiacenti che a loro volta possono riflettere la luce, caratteristiche del terreno, ad esempio la superficie pavimentata di un parcheggio può avere una componente di riflessione superiore a quella di uno spazio verde.

Il fenomeno dell'irraggiamento dipende non solo dalla temperatura delle superfici circostanti, ma anche della temperatura dell'aria in ragione delle condizioni climatiche di cielo limpido o nuvoloso. La resistenza termica di una lastra di vetro è dunque fortemente influenzata dalle resistenze liminari sia interne che esterne, le quali sono normalmente calcolate in laboratorio per determinate condizioni che, nella pratica, trovano raramente conferma. Il vetro presenta una conducibilità termica pari a circa 1 W/mK , e quindi una resistenza termica ($R=S/\lambda$ dove S è lo spessore) che equivale praticamente allo spessore in metri della lastra. E' dunque evidente che per migliorare la resistenza termica del vetro è inutile aumentare lo spessore; è invece determinante aggiungere una seconda lastra di vetro separata dalla prima da un'intercapedine riempita d'aria, la quale presenta valori di conducibilità relativamente più bassi rispetto a quelli del vetro, mentre la seconda lastra garantisce una maggiore resistenza termica allo scambio radiativo. L'introduzione delle vetrate isolanti o vetri camera, risale agli inizi degli anni '70 e, in questi ultimi 30 anni la tecnologia del vetro ha messo a punto diversi accorgimenti e specifiche soluzioni atte a migliorarne la resistenza termica. In particolare sono state messe a punto delle strategie di controllo delle prestazioni termiche che possono così essere riassunte:

- aumento dello spessore dell'intercapedine: l'ampiezza dell'intercapedine può essere portata fino a circa 15mm; oltre a questo valore l'eccessivo aumento degli scambi convettivi all'interno dell'intercapedine annulla la migliore resistenza termica offerta dall'aria;
- introduzione dei rivestimenti basso-emissivi: l'uso dei rivestimenti basso-emissivi (depositi molecolari di metalli e/o ossidi metallici) sulla faccia interna della prima lastra o su quella esterna della seconda lastra, permette di ridurre sensibilmente gli scambi per irraggiamento che avvengono tra le due lastre di vetro. All'interno dell'intercapedine di un "doppio vetro" gli scambi di calore possono essere imputati per il 60% a fenomeni di irraggiamento su lunghezza d'onde lunghe. L'introduzione

di un rivestimento basso/emissivo permette di ridurre lo scambio radiativo di circa il 75%.

- Introduzione di gas inerti con bassa conducibilità: l'intercapedine dei vetri isolanti può essere riempita con argon o altri gas inerti che garantiscono valori di resistenza termica superiore;
- Riduzione del moto convettivo all'interno dell'intercapedine: lo scambio di calore per convezione può essere ridotto compartimentando l'intercapedine per mezzo di setti realizzati in materiale plastico trasparente, oppure con l'introduzione di materiali isolanti trasparenti e traslucidi allo stato di gel;
- Realizzazione del vuoto all'interno dell'intercapedine: l'intercapedine può essere completamente o parzialmente svuotata del suo contenuto d'aria al fine di aumentarne la resistenza termica.

Attraverso i vetri non si anno soltanto perdite di calore, ma anche dei flussi positivi dovuti all'irraggiamento solare. Tutti i corpi infatti, emettono ed assorbono energia sotto forma di radiazione elettromagnetica, e ogni corpo irraggia una quantità di energia che dipende dalla temperatura e dalla sua remissività. La radiazione solare è compresa essenzialmente in una banda di lunghezza d'onda compresa tra i 300nm e i 3000nm alla quale il vetro nel suo spettro di trasmissione energetica, presenta una trasparenza quasi completa. All'interno degli ambienti dotati di finestre, i corpi, colpiti dalla radiazione solare, aumentano la loro temperatura ed in funzione di questa emettono a loro volta verso l'ambiente interno energia sotto forma di radiazioni infrarosse di lunghezza d'onda nettamente superiori a 3000nm alle quali il vetro risulta sostanzialmente opaco. L'energia rimane quindi "intrappolata" all'interno dell'ambiente costruito dando origine al conosciutissimo effetto serra la cui intensità dipende ovviamente dai già visti parametri di esposizione, stagione, ora del giorno ed ovviamente dalla trasparenza del vetro stesso. Massimizzare il contributo energetico

del sole significa trovare un equilibrio tra requisiti tra loro contrastanti dal punto di vista della loro pratica traduzione in prestazioni tecnologiche:

- garantire un apporto energetico positivo durante il periodo invernale;
- ridurre il rischio del surriscaldamento estivo;
- garantire un adeguato livello di illuminamento naturale in modo tale da minimizzare il consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale
- controllare la componente di trasmissione totale dell'irraggiamento solare senza penalizzare quella di trasmissione della radiazione nel campo del visivo, sebbene questa ultima contenga circa il 50% della radiazione stessa.

Allo stesso tempo, l'apporto solare non ha solo aspetti positivi, come il contenimento dei consumi energetici relativi al riscaldamento e all'uso dell'illuminazione artificiale, ma può generare situazioni di malessere igrotermico aumentando eccessivamente la temperatura interna dell'aria, oppure dando luogo a fenomeni di abbagliamento che modificano le condizioni di benessere ottico-luminoso. In sede di progetto, è dunque necessario intervenire per controllare l'apporto energetico e anche luminoso dovuto al sole

- A) adottando vetri assorbenti e soprattutto selettivi
- B) impiegando vetri riflettenti

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas $\geq 90\%$)			
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
Doppie vetrate	Vetri senza trattamento superficiale (vetro normale)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,4$	4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
			4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,2$	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3
			4-9-4	2,3	2,0	1,6	2,4
			4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,1$	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1
			4-9-4	2,1	1,7	1,3	2,2
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
			4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,3	2,3
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,05$	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0
			4-9-4	2,0	1,6	1,3	2,1
			4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
			4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas $\geq 90\%$)			
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
Triple vetrate	Vetri senza trattamento superficiale (vetro normale)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	2,0
			4-9-4-9-4	2,0	1,9	1,7	2,0
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0
	Due lastre con trattamento superficiale	$\leq 0,4$	4-6-4-6-4	2,0	1,7	1,4	1,6
			4-9-4-9-4	1,7	1,5	1,2	1,6
			4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	$\leq 0,2$	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3
			4-9-4-9-4	1,4	1,2	0,9	1,3
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
	Due lastre con trattamento superficiale	$\leq 0,1$	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,2
			4-9-4-9-4	1,3	1,0	0,8	1,2
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
	Due lastre con trattamento superficiale	$\leq 0,05$	4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1

Nota I valori di trasmittanza termica del prospetto sono calcolati utilizzando la EN 673. Si riferiscono ai valori di emissività e alle concentrazioni di gas date. Per vetrate singole i valori di emissività e/o le concentrazioni di gas possono cambiare con il tempo. Procedure per valutare l'effetto dell'invecchiamento sulle proprietà termiche delle vetrate singole sono contenute nel prEN 1279-1 e nel prEN 1279-3.

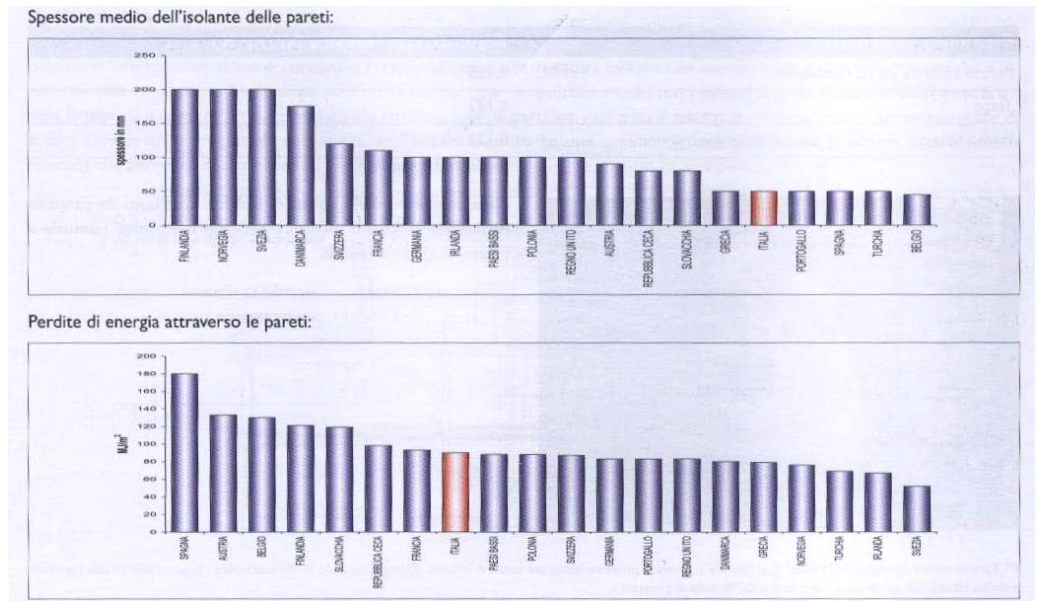
6.2 Gli Isolanti :

I materiali isolanti normalmente impiegati in edilizia possono essere di:

- lana minerale;
- polistirene espanso;
- polistirene espanso estruso;
- poliuretano espanso rigido;
- resine fenoliche espanse;
- vetro cellulare;
- lana di legno;
- perlite espansa;
- sughero espanso;
- fibre di legno.

Ognuno di questi materiali presenta delle caratteristiche peculiari che possono orientare il progettista nelle proprie scelte. I requisiti connotanti sono stati fissati nel 2003, in un gruppo omogeneo di norme molte delle quali sono state poi modificate nel corso del 2006. Alcuni requisiti sono soggetti solo a limiti minimi di prestazione, altre richieste di prestazione vanno invece rese esplicite , affinché sia garantita la coerenza con altri elaborati di progetto, tra queste vanno segnalate la resistenza termica dei componenti , che è utilizzata nelle valutazioni sulle prestazioni termiche degli elementi edilizi , e la classe di reazione al fuoco. Le tolleranze dimensionali sono un aspetto spesso ingiustamente trascurato e a cui è bene invece, prestare attenzione. Infatti in alcune applicazioni le irregolarità geometriche (non ortogonalità dei lati, difetti di planarità, variazioni di spessore ecc..) possono originare nello strato isolante delle discontinuità (ponti termici) e portare a decadimenti di prestazione rispetto alle previsioni di calcolo. Si possono così avere delle specifiche prescrizioni di capitolato che possono risultare utili ad esempio anche per le discontinuità originate dalla presenza di ancoraggi o altri elementi edilizi. Le caratteristiche attese in un componente possono inoltre variare notevolmente sia tra prodotti di materiale

diverso che in ragione delle classi di tolleranza ammesse che spesso risultano differenti al variare dei pannelli.



6.3 I serramenti:

Analizzando le difficoltà connesse all'utilizzo dei serramenti, si può consentire libertà di scelta nella disposizione dei componenti vetrati, anche se di notevoli dimensioni. Si devono quindi prendere in considerazione ed analizzare le prestazioni riguardanti l'isolamento termico, con particolare riferimento alla fase invernale e, analizzando i provvedimenti di carattere cogente, si può riscontrare come essi siano orientati alla progressiva limitazione dei consumi energetici. Difatti per raggiungere una buona efficienza energetica, tutti i componenti dell'involucro devono possedere prestazioni elevate ed essere quindi caratterizzati da valori ridotti di trasmittanza termica, inclusi i serramenti, normalmente meno performanti delle parti opache. I dati informativi presenti nella norma sono valori di trasmittanza termica normalmente alla portata di profili in PVC con rinforzi metallici o di legno, oppure da telai in alluminio a taglio

termico con distanza minima tra le sezioni opposte , separate dal profilo TT, nell'ordine di 6-16 mm. Per raggiungere standard nell'ordine di quelli previsti dalle classi A/B/C di CasaClima, per le quali sono necessari valori dei telai di circa $1,8\text{W/m}^2\text{K}$, questi valori sono raggiungibili secondo l'appendice D della UNI EN 10077-1 solo da telai di legno tenero con spessori di 70-140mm(con densità pari a 500kg/mc) o, 95-170mm se di legno duro (densità pari a 700kg/mc).

6.4 Le facciate ventilate in laterizio:

Il mattone di laterizio è un elemento che da secoli interpreta l'espressione più alta dell'architettura . Nell'attuale contesto progettuale, in cui la ricerca di nuove forme architettoniche e la rivalutazione di vecchie vedono il proprio nesso in studi tecnologici innovativi , in una sempre più incalzante tendenza alla eco-efficienza e in un riutilizzo delle materie prime naturali, trova terreno il concetto di facciata ventilata che così è descritta dalla norma UNI 110180 *“Tipo di facciata a schermo avanzato in cui l'intercapedine tra il rivestimento e la parete è progettata in modo tale che l'aria in essa presente possa fluire per effetto camino in modo naturale e/o in modo artificialmente controllato, a seconda delle necessità stagionali e/o giornaliere, al fine di migliorarne le prestazioni termoenergetiche complessive”*

6.4.1 Soluzioni progettuali:

Vengono ora presentate alcune soluzioni progettuali, verificate dalla prassi in cantiere, inerenti la ventilazione di murature di edifici per la residenza, realizzate con l'adozione di materiali diffusi che fanno parte della tradizione costruttiva del nostro Paese:

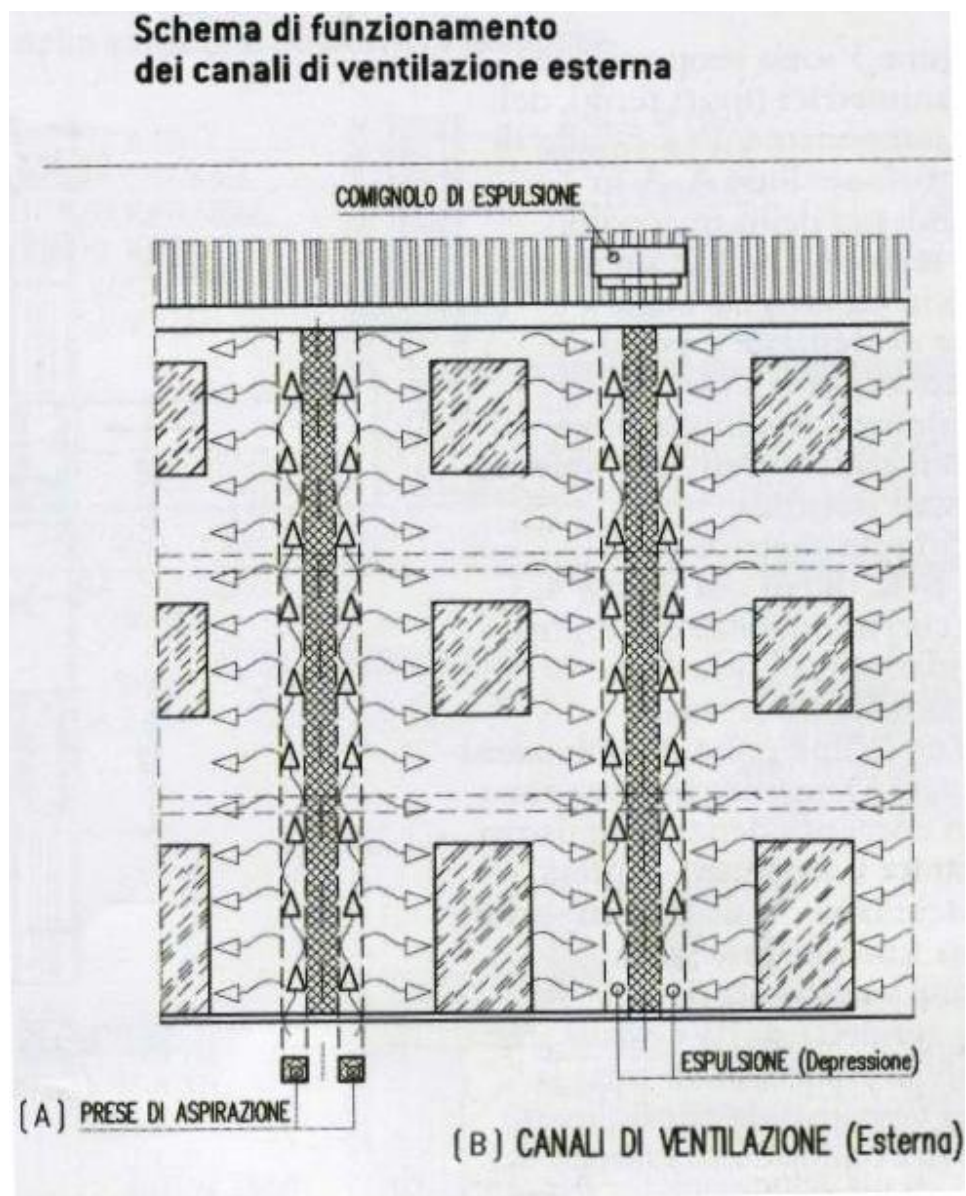
6.4.1.1 Schema di funzionamento dei canali di ventilazione esterna:

Si analizza una porzione di fabbricato in alzata contenente due pilastri contigui in cui si hanno:

- a cavallo del pilastro (A), due canali con flussi d'aria che risalgono da due prese di aspirazione poste al di sotto del piano di campagna
- la risalita dei flussi di aria, indotta dal riscaldamento dell'insolazione estiva, genera una forte espansione che, forzosamente, migra all'interno del canale opposto del pilastro (B), munito di comignolo di espulsione.

La forte depressione richiama l'aria dai "serbatoi" freddi interrati (vespai ventilati, condotte d'acqua eminentemente bianche) che, riscaldandosi, lungo il percorso all'interno della parete esterna, impediscono che la ragguardevole temperatura superi la barriera del pannello isolante. La parete interna può, quindi, mantenere una temperatura sufficientemente bassa per consentire un naturale comfort estivo senza il consumo di energia.

Durante il periodo invernale, i flussi di aria calda risalgono naturalmente e, per "effetto camino", contribuiscono a mantenere la parete asciutta (avendo questa la tendenza a condensare il vapore acqueo a causa dell'effetto rugiada, soprattutto se a diretto contatto con un pannello isolante non traspirante), frapponendo allo stesso tempo una barriera allo scambio termico passivo che tende a raffreddare l'ambiente. In virtù del fenomeno opposto, la parete interna può conservare più a lungo la propria temperatura, grazie al contatto diretto con i flussi di aria risalenti dal terreno, il cui beneficio è esaltato dall'effetto isolante del pannello, sul cui estradosso la condensa formatasi verrà dissipata dalla ventilazione.



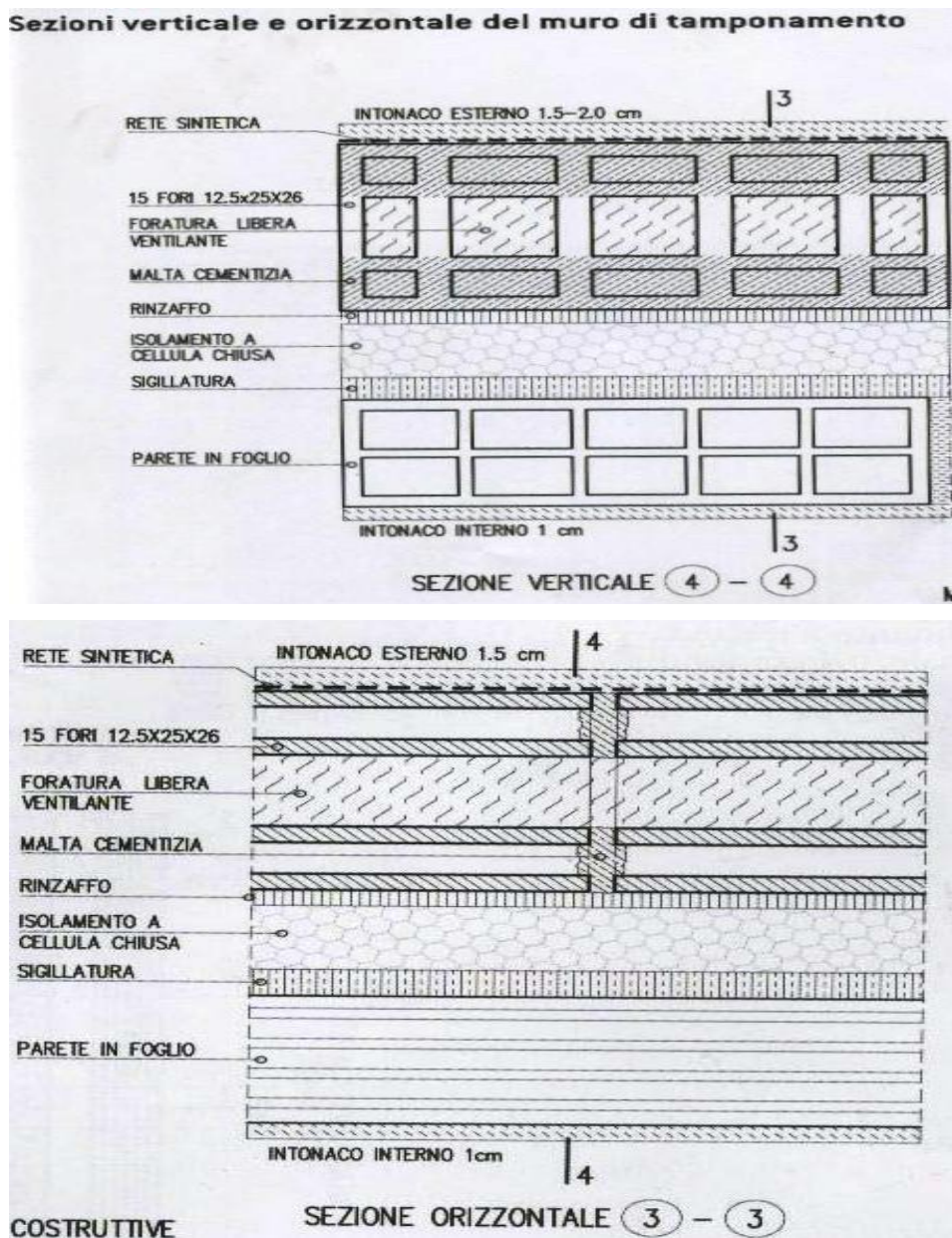
6.4.1.2 Il muro di tamponamento

Andando ad analizzare il principio costruttivo del muro di tamponamento con materiali tradizionali, Risulta della massima importanza che fra il pannello isolante e gli elementi di laterizio siano interposti due strati di malta a base di calce spenta .

Esternamente, un rinzafo formerà un volano igroscopico per l'accumulo della condensa che verrà dissipata, per assorbimento dal corpo di laterizio esterno, dalla ventilazione. Internamente, durante la formazione della parete in foglio, occorre sigillare accuratamente, con impasto di calce spenta e sabbia fine, tutti gli interstizi. L'accurata esecuzione della parete stratificata – condizione fondamentale per una sicura efficacia del flusso di ventilazione – dovrà essere realizzata da personale qualificato e con l'utilizzo di malta fortemente plastica, ottenuta con ricchi dosaggi di sabbia fine e l'aggiunta quanto basta della stessa calce spenta, all'interno dell'impasto cementizio.

I muri stratificati con interposti pannelli isolanti non possono essere considerati traspiranti in quanto :

- con pannelli a cellula aperta : la condensa che si forma nel punto di rugiada , immediatamente a ridosso o all'interno del pannello isolante, penetra fino alle superfici opache interne;
- con pannelli a cellula chiusa, la traspirazione osmotica viene bloccata e la condensa resta confinata fra la parete esterna e il pannello isolante, che colando fino alla base del muro, può (a seconda degli orientamenti), manifestare tracce di umidità, più o meno accentuate al di sopra del battiscopa. Così come è stato dimostrato da numerose esperienze, la calce spenta offre un "volano igroscopico" tale da consentire una dissipazione della condensa verso l'esterno, anche senza che la parete sia ventilata. Diversamente, con pannelli a cellula aperta , occorre adottare una barriera al vapore traspirante.



6.4.1.3 La facciata ventilata di cotto:

Questo risulta un valido ed efficiente sistema costruttivo, che rispetta le norme sul risparmio energetico. L'assemblaggio a secco dei componenti della parete ventilata,

rende questo sistema particolarmente versatile e ne consegue l'utilizzo su edifici di nuova costruzione, come su edifici da riqualificare, o per le ristrutturazioni dell'involucro esterno; inoltre si ha un ottimo sfruttamento del fenomeno detto "effetto camino", che consiste nella produzione di una corrente di aria continua nell'intercapedine, delimitata esternamente dal paramento di cotto e internamente da uno strato di isolante applicato direttamente sulla superficie esterna della parete dell'edificio, effetto, che contribuisce ad eliminare l'umidità ed i fenomeni della condensa. Lo strato ventilato coadiuva, inoltre la dissipazione del calore trasmesso per irraggiamento dagli elementi di cotto esposti in facciata all'azione del sole. Questo movimento, proveniente dal basso e diretto verso l'alto, è favorito dalla differenza di pressione fra esterno ed interno: il moto convettivo libero, così determinato, produce un velo d'aria, le cui proprietà contribuiscono, inoltre, al controllo dell'equilibrio termoigrometrico interno all'edificio. Altri vantaggi offerti da questa soluzione derivano dalla disposizione dello strato isolante sull'esterno del paramento dell'edificio, che garantisce la continuità della protezione, scongiurando l'inconveniente dei ponti termici, ossia le zone dell'involucro in cui la compresenza di diversi materiali, la discontinuità della geometria strutturale e le soluzioni di continuità dello strato isolante possono, a causa di comportamenti termici differenti e concentrati, determinare perdite di calore.

In aggiunta a questo il cappotto esterno, favorisce lo sfalsamento dell'onda termica e il suo smorzamento, grazie alla differenza tra la velocità di variazione della temperatura all'interno dell'edificio rispetto a quella dell'ambiente esterno: l'inerzia termica così ottenuta contribuisce a rendere la temperatura interna più costante nel tempo.

6.5 Prestazioni termiche dell'involucro edilizio

L'approccio delle diverse normative ha spesso portato anche i tecnici a dimenticare che mentre nell'Europa continentale è prioritaria la valutazione delle dispersioni nel periodo invernale, in molte parti d'Italia, la situazione è completamente diversa: si consuma più energia per raffrescare che per riscaldare, con un abnorme proliferazione dei condizionatori, invece sarebbe necessario che l'efficienza energetica nel periodo estivo, rivestita almeno la stessa importanza che già merita per il periodo invernale. Invece le norme europee e nazionali, stabiliscono disposizioni poco più che qualitative per ciò che riguarda il raffrescamento passivo. Per cui, si potrebbe avere la possibilità in cui edifici certificati come energeticamente efficienti, risultino essere poco adatti a rispondere alle reali sollecitazioni climatiche dell'area mediterranea.

In altre parole; i componenti dell'involucro edilizio sono descritti da un singolo parametro, la trasmittanza, intesa come capacità di trasmettere istantaneamente il calore da un lato all'altro di una chiusura che separa ambienti a temperatura diversa.

Assumere la trasmittanza come unico indicatore, consente di eseguire analisi energeticamente semplificate, cioè in regime stazionario, per le quali sono sufficienti dati climatici molto aggregati, su base mensile o addirittura stagionale.

Da questo approccio semplificato, scaturisce la cieca tendenza ad isolare sempre di più, ma un isolamento estremo può avere effetti incerti nel periodo estivo. Infatti l'isolamento, che trattiene il prezioso calore in inverno, durante l'estate svolge la medesima funzione, determinando il potenziale surriscaldamento degli ambienti.

Se non si vuole realizzare un involucro completamente slegato dal proprio contesto, dotato di un suo microclima indipendente, in cui anche i ricambi d'aria sono gestiti artificialmente, ma si vuole una casa che interagisca e dialoghi con l'ambiente circostante, modulando la complessità e l'imprevedibilità del clima, senza consumare energia, allora occorre rinunciare all'approccio semplificativo e considerare anche le proprietà dinamiche dell'involucro edilizio.

Le chiusure opache dotate di una massa consistente accumulano e rilasciano il calore in maniera complessa, non solo smorzando i picchi di temperatura dell'esterno, ma differendoli nel tempo: si tratta dell' "inerzia termica", che genera ripercussioni molto rilevanti sulle prestazioni energetiche complessive, tanto in estate quanto in inverno. Si può quindi affermare che l'uso diligente della massa termica, ha un notevole effetto positivo sulle condizioni di benessere, sui consumi energetici e sui carichi per il raffrescamento. Se ben progettata, la massa termica funziona come volano termico sia d'inverno che d'estate, quando preserva la temperatura media radiante e procura una vera sensazione di freschezza, diversa per qualità da quella che produce il solo raffreddamento dell'aria.

6.6 Massa termica e risparmio energetico

L'obiettivo delle diverse strategie che mirano al risparmio energetico in edilizia corrisponde con il contenimento delle dispersioni termiche. Si assiste quindi già da tempo alla scelta di soluzioni costruttive all'interno delle quali l'efficienza energetica viene perseguita esclusivamente attraverso la progettazione di sistemi di involucro caratterizzati da livelli di trasmittanza particolarmente performanti.

In particolare la ricerca, sempre con lo scopo di raggiungere elevati livelli di isolamento termico delle chiusure, ha privilegiato l'impiego di materiali a bassa conducibilità termica rendendo marginale il riferimento a soluzioni costruttive le cui prestazioni dipendono dal ricorso a materiali caratterizzati da una consistente massa. Soluzione questa che può in realtà essere efficace riguardo al contenimento dei consumi energetici nel rispetto delle condizioni di comfort ambientale. Infatti, l'accumulo del calore dei componenti edilizi rappresenta uno dei modi più efficaci per il controllo della climatizzazione degli spazi interni, sia in estate che in inverno:

- in estate il calore accumulato dall'involucro è rilasciato all'interno degli ambienti con ritardo attenuando quindi il picco di calore e la domanda di raffrescamento;
- in inverno il calore accumulato durante il giorno è restituito agli ambienti nel tardo pomeriggio e durante la sera, quando aumenta la necessità.

In entrambe le stagioni la massa quindi funziona da sistema di termoregolazione, consentendo di ridurre le oscillazioni di calore ed in modo da garantire condizioni di comfort all'interno degli ambienti nonché di limitare i consumi energetici.

In un edificio ben isolato il calore erogato in un ambiente dal sistema di riscaldamento viene trattenuto e non ceduto all'esterno. In realtà il contenimento dei consumi energetici dipende dal processo di accumulo e di rilascio del calore che entra nella parete: il processo è particolarmente significativo in soluzioni di involucro che prevedono l'impiego di materiali ad elevata capacità termica. Infatti, le chiusure opache funzionano come massa di accumulo, raccolgono l'apporto di calore erogato dagli impianti, quello proveniente dalla radiazione solare e dalle sorgenti interne e lo rilasciano gradualmente, quando gli apporti termici vengono a ridursi, riducendo in questo modo le fluttuazioni della temperatura nell'ambiente e dando maggiore stabilità al regime di funzionamento degli impianti.

E' da osservare che, pareti costituite da diversi materiali, ma con uguale trasmittanza termica, hanno un comportamento identico dal punto di vista della riduzione delle perdite di calore dall'ambiente interno verso l'esterno, e non incide sulla resistenza termica della parete l'ordine degli strati nella parete, questo principio risulta però valido soltanto dal punto di vista teorico, perché nella realtà queste stesse pareti possono avere un comportamento termico molto differente, determinato dallo sfruttamento dei flussi di calore e del loro accumulo a seconda della presenza o meno, di materiali massivi e della loro dislocazione all'interno del pacchetto murario.

È stato dimostrato come soluzioni tecniche di chiusura verticale opaca, a parità di trasmittanza termica (e quindi di potere isolante), ma con massa differente (ossia

differente inerzia termica), portino a consumi energetici diversi. In realtà la trasmittanza termica non è quindi l'unico parametro dell'involucro a condizionare i livelli di fabbisogno energetico dell'edificio e, la mancata considerazione degli effetti della massa nelle procedure di verifica del fabbisogno energetico rischia di penalizzare tecniche costruttive che in realtà, se confrontate con soluzioni leggere con analoga trasmittanza termica, permettono di conseguire risultati particolarmente performanti dal punto di vista della riduzione dei consumi energetici.

L'incidenza della massa per l'efficienza energetica dell'involucro edilizio dipende principalmente da alcuni fattori quali la localizzazione dell'edificio (zona climatica ed orientamento), la forma, la destinazione d'uso e la stratificazione della sezione muraria, ed in particolare, la posizione dello strato massivo all'interno del muro. La normativa consente una procedura semplificata, che impone il solo rispetto dei valori limite della trasmittanza termica, ignorando di fatto gli effetti della massa. Procedura che non costituisce dunque una verifica energetica in grado di quantificare il risparmio dovuto all'accumulo di calore e di valutare aspetti ambientali. Il ruolo della massa è dimostrato per quelle soluzioni murarie massive con un ridotto strato isolante che, pur non assicurando un coefficiente di trasmissione conforme a quanto stabilito per legge, presentano un consumo energetico finale inferiore. Le soluzioni murarie massive sono in generale efficienti, diminuiscono la loro efficacia soltanto nelle zone climatiche con clima invernale più rigido, dove la presenza di un buon isolamento termico si rileva fondamentale.

6.6.1 Risparmio energetico e scomputo degli extraspessori dell'involucro edilizio

Da una attenta analisi dei regolamenti edilizi comunali e di altri analoghi provvedimenti di Enti Locali, sono emersi chiaramente principi e criteri di architettura sostenibile che introducono apposite prestazioni relative ad un utilizzo consapevole e rispettoso delle risorse energetiche ed ambientali. Tra le disposizioni introdotte, sono spesso previsti scomputi dei maggiori spessori delle pareti perimetrali e misure legate al risparmio energetico, che risulta essere garantito dalla messa in opera di involucri edilizi più performanti dal punto di vista dell'isolamento termico e dell'inerzia termica. Tali regole tengono conto del fatto che soluzioni di chiusura esterna caratterizzate da requisiti energetici "virtuosi" implicano, nella maggior parte dei casi, un aumento dello spessore complessivo delle soluzioni verticali ed orizzontali adottate e che ciò comporta una conseguente riduzione della superficie utile interna.

Così numerose Amministrazioni Pubbliche italiane, preso coscienza di questo problema, hanno riconosciuto nei propri regolamenti incentivi, sotto forma di sgravi nel pagamento degli oneri di urbanizzazione e scomputi nel calcolo della volumetria per gli extraspessori dei muri perimetrali, dei solai e delle coperture, che contribuiscono al contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo. Un involucro edilizio massivo, caratterizzato da buona capacità di accumulo del calore e da idoneo isolamento, consente di assicurare una permanente sensazione di benessere termico.

I benefici derivanti dall'alta inerzia termica e dalla consistente massa frontale di una struttura si manifestano attraverso:

- il ridimensionamento dell'impianto di climatizzazione invernale e estiva, con conseguente contenimento del fabbisogno energetico;
- la riduzione delle emissioni di CO₂ per tutta la durata di vita dell'edificio.

Risulta di fondamentale dal punto di vista del contenimento energetico poter svincolare lo spessore di muri e solai di una costruzione dal calcolo della volumetria del fabbricato. Infatti, prescrizioni rivolte a vincolare la volumetria dei fabbricati e non la superficie utile abitabile inducono inevitabilmente il progettista a sfruttare al

massimo i limiti consentiti riducendo lo spessore delle pareti perimetrali. Questa riduzione degli spessori porta necessariamente a pareti con bassa inerzia termica che, anche se isolate attraverso l'impiego di isolanti specifici, e quindi efficienti durante il periodo di funzionamento degli impianti di riscaldamento, rapidamente si raffreddano durante il periodo di spegnimento degli impianti stessi, inoltre l'abbassamento della temperatura superficiale della parete può raggiungere valori tali da favorire la formazione di condense superficiali indesiderate, anche in condizioni idrometriche di esercizio.

Analogamente, nel periodo estivo la bassa inerzia termica di pareti e solai non protegge dalle oscillazioni della temperatura esterna, rendendo quindi inevitabile il ricorso ad impianti di climatizzazione.

6.7 Le prestazioni termiche del laterizio

Le prestazioni termiche dei blocchi in laterizio sono però oggi attestate tramite la marcatura CE, basata su una procedura di calcolo che è uniforme in tutta Europa e fa capo alla norma UNI EN 1745, in particolare il valore che il produttore deve autocertificare sul cartiglio di accompagnamento di ogni prodotto è la conducibilità equivalente del blocco λ_{eq} (W/mk) o la resistenza termica del blocco. La prestazione termica del blocco in sé non è però rappresentativa del comportamento dello strato costituito dai blocchi assemblati con giunti di malta. La malta ha una conducibilità termica superiore rispetto ai blocchi in laterizio e, quindi, la prestazione dell'intera parete in muratura risulta peggiorata del 10% circa rispetto alla resistenza termica del blocco in conseguenza della presenza dei giunti di malta. Sempre secondo la norma, dovrebbero essere considerati giunti di malta da 12 mm che non sempre sono rispettati nella prassi costruttiva. L'incidenza del giunto in malta si può ridurre ricorrendo all'uso della malta termica, oppure a blocchi ad incastro che non richiedono il giunto verticale o ancora, a blocchi rettificati, in cui lo strato di

collante viene ridotto a pochi millimetri. La marcatura CE avrebbe potuto essere lo strumento informativo per guidare il progettista nella scelta, ma il fatto che il valore di resistenza sia riferito al blocco e non tenga in considerazione i giunti in malta, rende complicato tradurre il valore relativo al prodotto in un valore di resistenza termica legata allo strato murario. Il rischio è che vengano assunti i valori di resistenza dei prodotti come valori di resistenza degli strati murari.

6.7.1 Ricette di chiusura:

L'obiettivo è quello di individuare un repertorio di soluzioni tecniche di chiusura opaca verticale realizzate con prodotti in laterizio conformi ai valori limite di trasmittanza imposti dalla normativa, nella realtà, sarebbe impossibile configurare una soluzione conforme, visto che lo spessore dello strato in muratura può variare in misura anche consistente rapporto alle prestazioni del prodotto in laterizio utilizzato per comporlo. Sono infatti numerose le variabili in gioco che possono portare ad una variazione della resistenza termica, quali:

- densità e conducibilità termica dell'impasto di argilla;
- percentuale di foratura;
- geometria dei fori;
- tipo di giunto (normale, rettificato o ad incastro);
- tipo di malta usata per i giunti (normale o termica);

Per cui la variabilità delle prestazioni è dovuta al carattere "artigianale" degli elementi in laterizio, realizzati con impasti di terre, la cui composizione è altamente variabile secondo il luogo di approvvigionamento ed il tipo di mescola, e risulta pressoché impossibile operare generalizzazioni assumendo come riferimento comportamenti medi, per cui nella descrizione del comportamento di una chiusura verticale realizzata con murature in laterizio occorre considerare che la prestazione termica dello stato di muratura non dipende esclusivamente dallo spessore dello strato, ma anche, ed in

maniera determinante, dalle caratteristiche degli elementi utilizzati e dal tipo di giunto realizzato.

Capitolo 7

Il progetto dell'involucro

7.1 L'elemento di fabbrica di confine

Con il termine Elemento di fabbrica di confine viene indicare il sistema tecnologico destinato a separare lo spazio architettonico da quello esterno in direzione orizzontale, rispondendo ad esigenze generali funzionali di sicurezza e di abitabilità, oltre a quelle compositive ed economiche che, anche se di notevole importanza, esulano da questa trattazione.

Gli elementi di confine, in particolare, devono essere in grado di fornire prestazioni adeguate a consentire il pieno svolgimento delle funzioni ospitate nello spazio architettonico ed a garantire condizioni di comfort, sia di tipo termoigrometrico che acustico, di fornire inoltre prestazioni adeguate relativamente alla difesa dagli agenti esterni, alla durabilità ed all'igiene.

L'elemento di fabbrica di confine è costituito, nella generalità dei casi, da più elementi costruttivi: quelli relativi alla parte opaca e quelli relativi alla parte trasparente, i serramenti esterni, la cui presenza è determinata dalle esigenze del collegamento dello spazio esterno con quello interno e della illuminazione ed aerazione naturale degli spazi chiusi.

In relazione alle caratteristiche costruttive gli elementi di confine opachi possono classificarsi in muri, ovvero portanti, e in tamponature, ovvero portati da una struttura, in generale a gabbia. La resistenza meccanica delle tamponature, quindi, deve essere riferita alla capacità di portare il peso proprio, di resistere alla spinta del vento per azioni di pressione e depressione, di resistere alle azioni sismiche ed agli urti accidentali provenienti sia dall'interno che dall'esterno.

In particolare verranno esaminate soltanto le tamponature, rimandando ad altri studi l'esame della tipologia portante.

L'avvento della struttura intelaiata a gabbia, in acciaio ed in cemento armato, ha portato ad una specializzazione funzionale dell'involucro dell'edificio in elementi costruttivi destinati a portare i carichi ed elementi costruttivi destinati a racchiudere lo spazio architettonico. È nato così l'elemento di fabbrica tamponatura che, non più portante ma portato, deve essere di peso ridotto per non costituire un grave sovraccarico per la struttura.

7.2 Tipologie costruttive delle chiusure d'ambito

Le tamponature possono essere realizzate in opera oppure prefabbricate; le tamponature realizzate in opera possono essere semplici, o a camera d'aria, e costruite con blocchi leggeri, con mattoni forati e con mattoni pieni; le tamponature prefabbricate possono essere realizzate con pannelli, con grandi elementi parete, con facciate cortina (curtain walls).

Le chiusure d'ambito verticali opache devono possedere requisiti idonei a soddisfare più esigenze funzionali.

In particolare, devono soddisfare:

- Esigenze di sicurezza, per la statica, per la resistenza al fuoco, per la resistenza all'intrusione.
- Esigenze di resistenza termica, per il contenimento dei consumi energetici, estivi e invernali.

- Esigenze di igiene, per la purezza dell'aria, per la condensa e per l'emissione di gas e polveri.
- Esigenze acustiche, per l'isolamento dai rumori esterni e per la correzione acustica ambientale.
- Esigenze di estetica, per l'aspetto formale sia verso l'ambiente esterno che verso lo spazio architettonico interno.
- Esigenze di attrezzabilità, per consentire l'applicazione di arredi interni.
- Esigenze di durabilità, per aumentare la vita utile della parete, per pianificare gli interventi manutentivi e contenerne i costi.
- Esigenze di economia, per contenere i costi di costruzione compatibilmente con tutte le altre esigenze.

Al fine di soddisfare le molteplici esigenze innanzi indicate, le chiusure d'ambito verticali devono possedere specifici requisiti. In particolare, le chiusure d'ambito devono essere qualificate almeno dai requisiti di seguito indicati.

- Requisito di stabilità: la parete deve possedere la capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dal peso proprio, dall'azione del vento, dalle azioni sismiche e dai carichi di esercizio in genere, senza perdere la sua funzionalità nel tempo.
- Requisito di resistenza e di durabilità agli urti: la parete deve possedere la capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dagli urti accidentali, provenienti sia dall'esterno che dall'interno; inoltre la parete deve possedere l'attitudine a mantenere adeguati livelli prestazionali sotto gli effetti degli urti accidentali e, in particolare, non devono verificarsi riduzioni dei livelli prestazionali relativamente alla tenuta all'acqua e all'aria ed al comportamento acustico.
- Requisito di resistenza al fuoco: la parete deve conservare per un tempo prestabilito l'attitudine a portare i carichi di esercizio, di non lasciar passare fumi e fiamme, di limitare la trasmissione del calore; in linea generale la

parete deve impedire la propagazione dell'incendio, da e verso l'esterno, per un tempo predefinito.

- Requisito di contenimento della tossicità dei fumi: la parete deve essere caratterizzata da una limitata produzione, sotto l'effetto dell'incendio, di fumi tossici per il sistema respiratorio, per gli occhi e per la pelle.
- Requisito di sicurezza alle intrusioni: la parete deve possedere un adeguato livello di resistenza nei riguardi dei tentativi di intrusione dall'esterno; in particolare, devono essere caratterizzati da adeguata resistenza meccanica gli elementi di fissaggio, i giunti, ecc.
- Requisito di sicurezza ai fenomeni elettrici ed elettromagnetici: la parete deve possedere un adeguato livello di controllo degli effetti indotti da scariche elettriche e da fenomeni elettromagnetici; in particolare, la parete deve consentire la dispersione delle scariche elettriche nel terreno ed impedire lo sviluppo di incendi durante il passaggio della corrente.
- Requisito di permeabilità all'aria: la parete deve possedere una adeguata permeabilità all'aria senza, però, compromettere la resistenza termica; la parete, in generale, deve respirare, in modo da diffondere verso l'ambiente esterno il vapor d'acqua che si forma all'interno dello spazio architettonico.
- Requisito di tenuta all'acqua: la parete deve possedere una adeguata tenuta alla penetrazione dell'acqua piovana, sia negli strati interstiziali, sia all'interno dello spazio architettonico.
- Requisito di resistenza termica e di controllo della condensazione interstiziale: la parete deve possedere una adeguata resistenza termica per contenere i consumi energetici, in condizioni invernali ed estivi; per impedire la condensa, sul paramento interno e negli strati interstiziali; per garantire condizioni di benessere fisiologico ai fruitori dello spazio architettonico.
- Requisito di controllo dell'emissione di odori: la parete, e gli strati di finitura in particolare, devono possedere l'attitudine a non emettere odori sgradevoli.

- Requisito di non emissione di gas, di polveri e/o di radiazioni nocive: la parete, e gli strati di finitura in particolare, devono possedere l'attitudine a non emettere gas, polveri o radiazioni che possano essere nocive per l'uomo.
- Requisito di isolamento dai rumori aerei: la parete, e gli strati con massa maggiore in particolare, devono possedere un adeguato livello di isolamento nei riguardi dei rumori aerei provenienti dall'ambiente esterno, limitandone la trasmissione.
- Requisito di isolamento acustico nei confronti della pioggia e della grandine: la parete deve possedere una adeguata capacità di isolare l'ambiente interno dai rumori provocati dalla pioggia e dalla grandine battenti all'esterno sulla parete.
- Requisito di isolamento acustico nei confronti del vento: la parete deve possedere una adeguata capacità di isolare l'ambiente interno dai rumori provocati dal vento che investe l'edificio.
- Requisito di planarità: la parete, e in particolare gli strati di finitura ed i relativi strati di supporto, devono essere caratterizzati da un adeguato livello di planarità sia nel proprio piano che rispetto alle pareti a confine.
- Requisito di assenza di difetti superficiali: la parete, e in particolare gli strati di finitura ed i relativi strati di supporto, devono essere caratterizzati da mancanza di difetti visibili.
- Requisito di omogeneità di colore e di brillantezza: gli strati di finitura della parete devono essere caratterizzati da limitati livelli di differenze di colore e di brillantezza.
- Requisito di attrezzabilità: la parete deve possedere l'attitudine di sopportare i carichi sospesi, sia all'interno che all'esterno, quali gli arredi pensili, le insegne, i cavi, le tende esterne e interne, ecc.
- Requisito di durabilità sotto l'effetto della temperatura, dell'irraggiamento solare, dell'acqua piovana, del gelo e del disgelo: la parete deve possedere

l'attitudine a mantenere adeguati livelli prestazionali anche se sottoposta alle sollecitazioni indotte da variazioni termiche, dall'irraggiamento solare, dall'acqua piovana e da cicli di gelo e disgelo.

- Requisito di durabilità sotto l'effetto delle nebbie, delle atmosfere industriali, dei venti di sabbia e polvere: la parete deve possedere l'attitudine a mantenere adeguati livelli prestazionali anche se sottoposta alle azioni di corrosione indotte dalle nebbie saline e industriali ed all'usura determinata dai venti contenenti sabbia e polvere; in particolare non devono verificarsi riduzioni dei livelli prestazionali relativamente alla tenuta all'acqua e all'aria. Per soddisfare i molteplici requisiti richiesti dalle esigenze funzionali, le tamponature degli edifici possono essere formate da più strati funzionali elementari che, in alcune soluzioni costruttive, possono anche coincidere in uno o pochi strati.

In generale è possibile distinguere:

- lo strato portante, al quale è demandato il compito di sopportare sia le sollecitazioni indotte dal peso proprio e dal peso degli altri strati funzionali ad esso collegati, sia le sollecitazioni indotte dall'azione del vento, degli urti accidentali e dalle azioni sismiche;
- lo strato di tenuta all'acqua, al quale è demandato il compito di garantire una prefissata impermeabilità all'acqua meteorica;
- lo strato di tenuta all'aria, al quale è demandato il compito di garantire una prefissata tenuta all'aria ed alla pressione del vento;
- lo strato di isolamento termico, al quale è demandato il compito di garantire una prefissata resistenza termica per controllare il fenomeno della condensa sul paramento interno, per garantire condizioni di benessere fisiologico e per contenere i consumi energetici;
- lo strato di barriera al vapore, al quale è demandato il compito di garantire una prefissata impermeabilità al vapore d'acqua per controllare il fenomeno della condensa negli strati interstiziali della parete;

- lo strato di collegamento, al quale è demandato il compito di garantire il fissaggio di uno strato portato allo strato portante;
- lo strato di protezione e rivestimento, al quale è demandato il compito di proteggere il sistema costruttivo dagli agenti atmosferici e di svolgere la funzione decorativa;
- lo strato di regolarizzazione, al quale è demandato il compito di ridurre le irregolarità superficiali dello strato sottostante sia per rendere continua l'adesione tra due strati contigui, sia per ridurre sollecitazioni meccaniche anomale in fase di esercizio;
- lo strato di ripartizione dei carichi, al quale è demandato il compito di diffondere i carichi concentrati, quali gli urti accidentali, sugli strati compressibili;
- lo strato di ventilazione, al quale è demandato il compito di contribuire al controllo delle caratteristiche termoigrometriche della chiusura mediante ricambi d'aria, naturali o forzati;
- lo strato di accumulazione termica, al quale è demandato il compito di portare la chiusura al valore prefissato di inerzia termica.

Ciascuna soluzione tecnica, in particolare, è caratterizzata da una sequenza ordinata di strati funzionali che, nel loro insieme, definiscono il corretto funzionamento di tutta la tamponatura.

Ciascuna soluzione tecnologica, invece, costituisce la traduzione di uno dei sistemi tecnici in specifiche soluzioni materiche, in relazione ai materiali con i quali vengono realizzati gli strati funzionali.

Per ciascuna soluzione tecnica, quindi, si possono avere più soluzioni tecnologiche.

7.3 L'elemento costruttivo di rivestimento

La tamponatura, se realizzata con materiali grezzi (mattoni forati, blocchi, calcestruzzo) ha bisogno di un rivestimento che renda uniforme la superficie e la

protegga dagli agenti atmosferici all'esterno e dall'usura all'interno. Pertanto a completare l'elemento di fabbrica tamponatura, intervengono in genere elementi costruttivi di rivestimento costituiti nella maggior parte dei casi da intonaco all'interno e all'esterno e, in alcuni casi particolari, da rivestimenti lapidei naturali o artificiali all'esterno. Escludendo il caso di pareti esterne realizzate con materiali a facciavista, il rivestimento deve essere tale da resistere agli urti, alla erosione eolica, alle penetrazioni di pioggia oltre ad avere un colore che mantenga la sua stabilità nel tempo.

I tipi di rivestimento, in relazione ai materiali impiegati, possono essere:

- Rivestimento con finitura ad intonaco civile, idoneo a costituire la base per un successivo trattamento superficiale, quali verniciature e decorazioni pittoriche;
- Rivestimento con materiali lapidei artificiali, quali conci, listelli in laterizio, piastrelle in ceramica, cotto, lastre di calcestruzzo, ecc.;
- Rivestimento con materiali lapidei naturali, quali pietre da taglio, marmi, ardesie, ecc.;
- Rivestimento con materiali metallici, quali lamiere metalliche, lamiere di alluminio e leghe;
- Rivestimento con materiali fibro-rinforzati, quali lastre in fibro-cemento, lastre in materiale plastico.

Il rivestimento con finitura ad intonaco civile rappresenta il sistema più economico per la finitura dell'elemento di fabbrica di confine. Per l'intonaco di rivestimento del paramento esterno della tamponatura viene generalmente utilizzata malta cementizia, al fine di garantire una buona resistenza agli agenti atmosferici. Pur tuttavia, considerato che l'intonaco cementizio è interessato dal fenomeno del ritiro, e quindi da fessurazioni, è opportuno utilizzare, specialmente in ambienti aggressivi, malte di calce idraulica.

L'intonaco, facilmente aggrappabile per affinità fisica e chimica su superficie in muratura ed in calcestruzzo purché non eccessivamente lisce, quando deve essere applicato su superfici levigate richiede l'impiego di reti portaintonaco o di speciali collanti sintetici. È questo il caso dell'intonaco su isolamento a cappotto, che richiede l'applicazione della finitura sullo strato di materiale isolante posizionati all'esterno della parete di tamponamento. Questa soluzione può interessare l'intera superficie dell'elemento di confine, oppure zone singolari in corrispondenza degli elementi strutturali, in corrispondenza dei quali il coibente viene posto ad evitare la costituzione di un ponte termico.

Il rivestimento con intonaco si ottiene attraverso varie fasi lavorative che, nel caso più generale, sono:

- pulitura e raschiatura della parete di supporto;
- abbondante bagnatura di quest'ultima, di modo che non venga sottratta acqua all'indurimento degli strati di malta che verranno successivamente applicati;
- formazione di fasce di guida o poste;
- formazione del cosiddetto intonaco rustico costituito da due strati di malta: il primo, l'arricciatura, destinato all'aggrappaggio; il secondo, l'abbozzo, con funzione di livellamento;
- applicazione di un terzo strato di malta, la finitura, che, a seconda dei componenti delle malte e della lavorazione della superficie finale, darà luogo all'intonaco civile, a gesso, a stucco, graffiato, a marmiglia, martellinato, etc. Il completamento può prevedere la coloritura finale.

Per migliorare il livello di impermeabilizzazione delle pareti, la malta del terzo strato di finitura può essere additivata con prodotti idrorepellenti (intonaco

plastico) o con resine epossidiche. Lo strato di finitura degli intonaci può anche essere colorato in pasta con graniglie, quarzo, etc.

I rivestimenti con i materiali lapidei, naturali ed artificiali, possono essere applicati su ogni tipo di parete, in muratura o in calcestruzzo, in opera o in stabilimento su elementi prefabbricati. Lo scopo del rivestimento è quello di garantire una protezione meccanica e termo-igrometrica all'elemento di fabbrica di confine.

I materiali lapidei naturali derivano da rocce compatte di vario tipo: i marmi, che possono essere sottoposti a lavorazione di lucidatura e quindi in grado di offrire superfici con perfetta lucentezza; le pietre da taglio sbozzate, cioè lavorate grossolanamente, le pietre da taglio squadrate, cioè con almeno due facce piane disposte ortogonalmente.

I marmi e le pietre naturali, ridotti alle dimensioni e nelle forme rispondenti alle funzioni costruttive, oltre a garantire una elevata resistenza ad ogni sollecitazione esterna, quali abrasioni, urti, ecc., consentono di realizzare paramenti di notevole pregio formale. Di contro i rivestimenti in marmo e in pietre naturali risultano economicamente onerosi, sia in termini di costo dei materiali che in termini di posa in opera. Il collegamento al supporto delle lastre, di qualche centimetro di spessore, avviene utilizzando opportune zanche, grappe e perni in ferro zincato, murati generalmente con malta cementizia. Qualora il rivestimento in pietra presenta uno spessore superiore ai 10-15 cm, occorre prevedere l'ammorsamento degli elementi lapidei nella retrostante muratura.

Molto diffuso, soprattutto nell'edilizia residenziale, è il rivestimento con prodotti ceramici, cioè con lastre ottenute dalla cottura di materiali argillosi: dal tipo a pasta porosa (laterizio, maiolica), a quello a pasta compatta (gres ordinario e fine).

Sul costo di un rivestimento di facciata, dal semplice intonaco dipinto ai vari tipi di lastre o di listelli o ai rivestimenti plastici, incide in maniera notevole l'onere dell'andito necessario per operare ai vari livelli di superficie verticale. I pannelli prefabbricati possono, se trattati in stabilimento, eliminare l'onere dell'impalcatura e si può ben dire che un sistema industrializzato che preveda un intervento in facciata dopo il montaggio dei pannelli perde certamente parte della sua efficacia.

Pareti in calcestruzzo colorato, prefabbricate in elementi, possono essere trattate subito dopo la scasseratura o con semplice sabbiatura, che conferisce una pelle a buccia d'arancia, o con lavatura, che interviene più in profondità.

Trattamenti più sofisticati possono ottenersi con l'adozione di matrici a disegno che imprime un rilievo sulla superficie esterna del pannello. E' chiaro che il trattamento a vista dell'elemento prefabbricato richiede un successivo modo di giunzione dei pannelli che non vada a sporcare la superficie esterna (colature di boiaccia o di malta da colare nei giunti). Per quanto riguarda la faccia interna dell'elemento di confine occorre osservare che contro la consueta intonacatura di pareti realizzate in opera, nel campo della prefabbricazione si tende ad eliminare tale operazione cercando di ottenere superfici talmente finite da richiedere la sola applicazione delle carte da parato e delle pitture murali.

7.4 Il progetto termico dell'elemento di fabbrica di confine

I sistemi di chiusura d'ambito esterno, sia di tipo tradizionale, in pietre naturali e artificiali, sia in pannelli prefabbricati di calcestruzzo, metallo, vetroresina, legno, devono rispondere a molteplici esigenze ed avere caratteristiche

prestazionali tali da migliorare l'affidabilità del prodotto edilizio del quale fanno parte.

Oltre ai requisiti relativi alla funzionalità ed alla sicurezza ed a quelli di ordine estetico e di durabilità, le pareti perimetrali devono essere idonee a garantire agli utenti dello spazio architettonico un buon livello di comfort ambientale.

Questo ultimo, per quanto riguarda il benessere termoigrometrico, è legato a quattro fattori caratteristici, temperatura, umidità relativa, irradiazione e ventilazione, che opportunamente graduati con mezzi naturali e/o artificiali mettono l'organismo umano in condizioni ottimali per l'espletamento di determinate funzioni.

In questi ultimi anni, con l'evoluzione dei sistemi costruttivi, che ha comportato la riduzione dei pesi specifici e degli spessori dei materiali impiegati per gli elementi di confine, l'isolamento termico degli edifici è diventato una preoccupazione essenziale degli operatori del settore edile. Infatti, oggi non è più ammissibile la tendenza, prevalente fino a pochi anni or sono, a risolvere il controllo ambientale con l'impiego di scarse coibentazioni e notevoli apporti termici.

Ottimizzando le caratteristiche di isolamento termico si consegue sia la riduzione dei consumi di combustibile, e quindi dei costi di gestione degli impianti tecnologici senza pregiudicare il livello di comfort termico ambientale, sia il miglioramento delle condizioni di benessere fisiologico dipendenti dai fattori termoigrometrici dell'ambiente interno.

In effetti con l'ottimizzazione dell'isolamento termico degli edifici è possibile conseguire quattro obiettivi.

- Il primo è costituito dal rispetto delle disposizioni legislative vigenti. In particolare, la legge 9 gennaio 1991 n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", il Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993 n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione,

l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia” e il D.L. 29 dicembre 2006 n. 311 “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/Ce, relativa al rendimento energetico nell'edilizia”, prescrivono valori limite degli indici di prestazione energetica EP per la climatizzazione invernale degli edifici. Pertanto, le chiusure d'ambito dell'edificio dovranno essere progettate in modo che le relative resistenze termiche siano adeguate al valore limite del EP.

- Il secondo obiettivo da conseguire è quello di impedire i fenomeni di condensa dell'umidità ambientale sia sullo strato superficiale interno delle pareti perimetrali sia all'interno delle stesse.
- Il terzo è quello di garantire il benessere fisiologico agli utenti del prodotto edilizio contenendo entro limiti accettabili gli scambi di calore per irraggiamento fra le persone e le pareti perimetrali.
- L'ultimo, ma non meno importante, obiettivo che si può conseguire con l'isolamento termico, riguarda l'ottimizzazione dei costi di gestione degli impianti di riscaldamento e/o condizionamento.

7.4.1 Simboli e Definizioni

T_i	[K]	Temperatura interna del locale riscaldato. Si assume, per norma, non superiore ai 20 K.
T_e	[K]	Temperatura dell'aria esterna di progetto. Si assume in funzione della località.

θ_i	[K]	Temperatura superficiale del paramento interno di una chiusura d'ambito.
θ_e	[K]	Temperatura superficiale del paramento esterno di una chiusura d'ambito.
θ_j	[K]	Temperatura superficiale del paramento esterno dello strato j-mo della chiusura d'ambito.
W	watt	Unità di misura della potenza nel Sistema Internazionale. 1 W = 0,86 Cal/h
kW	kilowatt	È un multiplo del watt. $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$
J	joule	Unità di misura dell'energia nel Sistema Internazionale
MJ	megajoule	È un multiplo del joule. $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$
Ws	wattsecondo	È un sottomultiplo di una unità di misura dell'energia.
Wh	wattora	È una unità di misura dell'energia. Esprime l'energia fornita dalla potenza di 1 W in 1 ora. $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws} = 3600 \text{ J}$
kWh	kilowattora	È un multiplo dell'unità di misura dell'energia. $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$ $1 \text{ kWh} = 103 \text{ W} \times 3600 = 103 \text{ 3600 Ws} = 103 \text{ 3600 J}$
Φ	[W]	Flusso termico attraverso una chiusura d'ambito esterno. Rappresenta la quantità di calore che si trasmette dall'ambiente interno a quello esterno nell'unità di tempo, per conduzione, convezione ed irraggiamento.
α_i	[W/m ² K]	Coefficiente di trasmissione superficiale interno, o adduttanza di ammissione. Rappresenta la quantità di calore che, per irraggiamento e convezione, si trasmette, tra l'ambiente ed il paramento interno di una chiusura d'ambito, in un'ora, per ogni metro quadrato di parete e per

		un salto termico ($T_i - \theta_i$) di un grado.
α_e	$[W/m^2 K]$	Coefficiente di trasmissione superficiale esterno, o adduttanza di emissione. Rappresenta la quantità di calore che, per irraggiamento e convezione, si trasmette, tra il paramento esterno di una chiusura d'ambito e l'ambiente esterno, in un'ora, per ogni metro quadrato di parete e per un salto termico ($\theta_e - T_e$) di un grado.
λ_j	$[W/m^2 K]$	Coefficiente di conduttività dello strato omogeneo j-mo, di una chiusura d'ambito. Rappresenta la quantità di calore che, per conduzione, si trasmette; attraverso uno strato di materiale omogeneo, di spessore un metro, in un'ora, per ogni metro quadrato di parete e per un salto termico di un grado.
s_j	$[m]$	Spessore dello strato j-mo di una chiusura d'ambito.
S	$[m^2]$	Superficie di una chiusura d'ambito.
C_j	$[W/m^2 K]$	Conduttanza dello strato j-mo, non omogeneo, di una chiusura d'ambito. Rappresenta la quantità di calore che si trasmette, attraverso uno strato di materiale non omogeneo, in un'ora, per ogni metro quadrato di parete e per un salto termico di un grado.
r_a	$[m^2 K/W]$	Resistenza termica della lama d'aria di una chiusura d'ambito. Rappresenta l'inverso della quantità di calore che si trasmette, attraverso una lama d'aria, in un'ora, per ogni metro quadrato di parete e per un salto termico di un grado.

U	$[W/m^2 K]$	Trasmittanza della chiusura d'ambito. Rappresenta la quantità di calore che si trasmette, in un'ora, per irraggiamento, convezione e conduzione, attraverso un metro quadrato di parete e per un salto termico di un grado.
U_j	$[W/m^2 K]$	Trasmittanza relativa ai primi j-mi strati di una chiusura d'ambito.
U_l	$[W/m K]$	Trasmittanza lineare del ponte-termico. Rappresenta la quantità di calore che si trasmette, in un'ora, attraverso un metro lineare di ponte-termico per un salto termico di un grado.
φ	$[\%]$	Grado igrotermico di un ambiente. Rappresenta il rapporto tra la quantità m_r [g/kg] di vapore d'acqua contenuta in un Kg di aria alla temperatura T e la quantità m_s [g/kg] di vapor d'acqua che rende satura l'aria alla stessa temperatura.
T_r	$[K]$	Temperatura di rugiada. Rappresenta la temperatura corrispondente alla saturazione dell'aria. $T_r = T_i - 31,25 \times (2 - \log \varphi)$; Es.: per $T_i = 20^\circ C$ e $\varphi = 80$ risulta $T_r = 16,97^\circ C$
R_{crit}	$[m^2 K/W]$	Resistenza critica di condensazione. Rappresenta la resistenza termica di una chiusura d'ambito esterno, per la quale si realizza la condizione di condensazione dell'umidità ambientale.
P_i	$[mm Hg]$	Pressione parziale del vapore d'acqua nell'ambiente interno.
P_e	$[mm Hg]$	Pressione parziale del vapore d'acqua nell'ambiente

		esterno.
μ_j	$[g/m \cdot h \cdot mm \cdot Hg]$	Permeabilità al vapor d'acqua dello strato j-mo di una chiusura d'ambito. Rappresenta la quantità di vapore d'acqua che attraversa uno strato di materiale di spessore un metro, in un'ora, per ogni metro quadro di parete e per una differenza di pressione di un mm di colonna di mercurio.
ϱ	$[m^2 \cdot h \cdot mm \cdot Hg/g]$	Resistenza alla diffusione del vapore di una chiusura d'ambito. È data da $\sum s_j / \mu_j$, dove s_j è lo spessore dello strato j-mo e μ_j è la permeabilità al vapore dello strato j-mo.
C_d	$[W/m^3 \cdot K]$	Dotazione di calore disperdibile attraverso le strutture opache. Esprime il flusso termico disperdibile per 1 m ³ di volume riscaldato e per 1 grado di salto termico tra la temperatura interna e la temperatura esterna. $C_d = \Phi / (V \times \Delta T)$
C_v	$[W/m^3 \cdot K]$	Dotazione di calore disperdibile per ricambio d'aria. Esprime il flusso termico disperdibile per 1 m ³ di volume riscaldato e per 1 grado di salto termico tra la temperatura interna e la temperatura esterna. $C_v = (0,29 \times n \times V (T_i - T_e)) / (V \times (T_i - T_e))$ dove n è il numero di ricambi d'aria all'ora
EP	$[kWh/m^2 \cdot anno]$ $[kWh/m^3 \cdot anno]$	Indice di prestazione energetica. Esprime i kWh disperdibili, per metro quadrato o per metro cubo, in 1 anno. $EP = 10^3 \times \Phi / (V \times anno)$

7.4.2 Definizioni e Termini

Accertamento	È l'insieme delle attività di controllo pubblico diretto ad accertare in via esclusivamente documentale che il progetto delle opere e gli impianti siano conformi alle norme vigenti e che rispettino le prescrizioni e gli obblighi stabiliti.
Attestato di qualificazione energetica	È il documento predisposto ed asseverato da un professionista abilitato, non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio, nel quale sono riportati i fabbisogni di energia primaria di calcolo, la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, ed i corrispondenti valori massimi ammissibili fissati dalla normativa in vigore per il caso specifico o, ove non siano fissati tali limiti, per un identico edificio di nuova costruzione.
Certificazione energetica dell'edificio	È il complesso delle operazioni svolte per il rilascio della certificazione energetica e delle raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio
Climatizzazione invernale o estiva	È l'insieme di funzioni atte ad assicurare il benessere degli occupanti mediante il controllo, all'interno degli ambienti, della temperatura e, ove presenti dispositivi idonei, della umidità, della portata di rinnovo e della purezza dell'aria

Conduzione	È il complesso delle operazioni effettuate dal responsabile dell'esercizio e manutenzione dell'impianto, attraverso comando manuale, automatico o telematico per la messa in funzione, il governo della combustione, il controllo e la sorveglianza delle apparecchiature componenti l'impianto, al fine di utilizzare il calore prodotto convogliandolo ove previsto nelle quantità e qualità necessarie a garantire le condizioni di comfort
Controlli sugli edifici o sugli impianti	Sono le operazioni svolte da tecnici qualificati operanti sul mercato, al fine di appurare lo stato degli elementi edilizi o degli impianti e l'eventuale necessità di operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria
Diagnosi energetica	Procedura sistematica volta a fornire una adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.
Edificio adibito ad uso pubblico	È un edificio nel quale si svolge, in tutto o in parte, l'attività istituzionale di enti pubblici.
Edificio di proprietà pubblica	È un edificio di proprietà dello Stato, delle regioni o degli enti locali, nonché di altri enti pubblici, anche economici, destinato sia allo svolgimento delle attività dell'ente, sia ad altre attività o usi, compreso quello di abitazione privata.
Esercizio e manutenzione di un impianto termico	È il complesso di operazioni, che comporta l'assunzione di responsabilità finalizzata alla gestione degli impianti. Includente: conduzione, controllo, manutenzione ordinaria e straordinaria, nel rispetto delle norme in materia di

	sicurezza, di contenimento dei consumi energetici e di salvaguardia ambientale.
Fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale	È la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, in regime di attivazione continuo.
Fonti energetiche rinnovabili	Sono quelle definite all'articolo 2 comma 1, lettera a), del decreto legislativo del 29 dicembre 2003, n. 387.
Gradi giorno di una località	È il parametro convenzionale rappresentativo delle condizioni climatiche locali, utilizzato per stimare al meglio il fabbisogno energetico necessario per mantenere gli ambienti ad una temperatura prefissata. Rappresenta la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°K, e la temperatura media esterna giornaliera. L'unità di misura utilizzata è il grado giorno
Impianto termico	È un impianto tecnologico destinato alla climatizzazione estiva ed invernale degli ambienti, con o senza produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari o alla sola produzione centralizzata di acqua calda per gli stessi usi; sono compresi negli impianti termici gli impianti individuali di riscaldamento, mentre non sono considerati impianti termici apparecchi quali: stufe, caminetti, apparecchi per il riscaldamento localizzato ad energia radiante, scaldacqua unifamiliari; tali apparecchi, se fissi, sono tuttavia assimilati agli impianti termici quando la

	somma delle potenze nominali del focolare degli apparecchi al servizio della singola unità immobiliare è maggiore o uguale a 15 kW.
Impianto termico di nuova installazione	È un impianto termico installato in un edificio di nuova costruzione o in un edificio o porzione di edificio precedentemente privo di impianto termico.
Indice di prestazione energetica EP parziale	Esprime il consumo di energia primaria parziale riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (a titolo d'esempio: alla sola climatizzazione invernale e/o alla climatizzazione estiva e/o produzione di acqua calda per usi sanitari e/o illuminazione artificiale) riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m^2 anno o kWh/m^3 anno
Indice di prestazione energetica EP	Esprime il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m^2 anno o kWh/m^3 anno
Involucro edilizio	È l'insieme delle strutture edilizie esterne che delimitano un edificio
Ispezioni su edifici ed impianti	Sono gli interventi di controllo tecnico e documentale in sito, svolti da esperti qualificati incaricati dalle autorità pubbliche competenti, mirato a verificare che le opere e gli impianti siano conformi alle norme vigenti e che rispettino le prescrizioni e gli obblighi stabiliti

Manutenzione ordinaria dell'impianto termico	Sono le operazioni previste nei libretti d'uso e manutenzione degli apparecchi e componenti che possono essere effettuate in luogo con strumenti ed attrezzature di corredo agli apparecchi e componenti stessi e che comportino l'impiego di attrezzature e di materiali di consumo d'uso corrente.
Manutenzione straordinaria dell'impianto termico	Sono gli interventi atti a ricondurre il funzionamento dell'impianto a quello previsto dal progetto e/o dalla normativa vigente mediante il ricorso, in tutto o in parte, a mezzi, attrezzature, strumentazioni, riparazioni, ricambi di parti, ripristini, revisione o sostituzione di apparecchi o componenti. dell' impianto termico.
Massa superficiale	È la massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci, l'unità di misura utilizzata è il kg/m^2
Numero di ore-giorno	Rappresenta il numero di ore del giorno in cui si vuole mantenere costante la temperatura interna di progetto.
Occupante	È chiunque, pur non essendone proprietario, ha la disponibilità, a qualsiasi titolo, di un edificio e dei relativi impianti tecnici.
Parete fittizia	È la parete schematizzata in figura.
Ponte termico	Via di fuga del calore che, in edilizia, si riscontra in corrispondenza dei giunti, delle connessioni e nelle zone di discontinuità dell'involucro. (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro, ecc.)
Ponte termico corretto	Si ha quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte

	termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente
Potenza termica convenzionale di un generatore di calore	È la potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino in regime di funzionamento continuo; l'unità di misura utilizzata è il kW.
Potenza termica del focolare di un generatore di calore	È il prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato; l'unità di misura utilizzata è il kW.
Proprietario dell'impianto termico	È il soggetto che, in tutto o in parte, è proprietario dell'impianto termico; nel caso di edifici dotati di impianti termici centralizzati amministrati in condominio e nel caso di soggetti diversi dalle persone fisiche gli obblighi e le responsabilità posti a carico del proprietario dal presente regolamento sono da intendersi riferiti agli amministratori.
Rendimento di combustione o rendimento termico convenzionale di un generatore di calore	È il rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare.
Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico	È il rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio di cui all'art. 9 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412. Ai fini della conversione dell'energia elettrica in energia primaria si considera l'equivalenza: $9\text{MJ} = 1\text{kWh}_e$

Rendimento di produzione stagionale medio	È il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nella rete di distribuzione e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio di cui all'art. 9 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412. Ai fini della conversione dell' energia elettrica in energia primaria si considera l'equivalenza: $9\text{MJ} = 1\text{kWh}_e$
Rendimento termico utile di un generatore di calore	È il rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare.
Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico	Si calcola con la relazione $\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \%$ dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della Potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW. Per valori di P_n superiori a 1.000 kW la formula precedente non si applica, e la soglia minima per il rendimento globale medio stagionale è pari a 84%.
Ristrutturazione di un impianto termico	È un insieme di opere che comportano la modifica sostanziale sia dei sistemi di produzione che di distribuzione ed emissione del calore; rientrano in questa categoria anche la trasformazione di un impianto termico centralizzato in impianti termici individuali nonché la risistemazione impiantistica nelle singole unità immobiliari o parti di edificio in caso di installazione di un impianto termico individuale previo distacco dall'impianto termico

	centralizzato.
Schermature solari esterne	Sistemi che, applicati all' esterno di una superficie vetrata trasparente permettono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari.
Sostituzione di un generatore di calore	È la rimozione di un vecchio generatore e l'installazione di un altro nuovo, di potenza termica non superiore del 10% alla potenza del generatore sostituito, destinato ad erogare energia termica alle medesime utenze.
Superficie utile	È la superficie netta calpestabile di un edificio.
Trasmittanza termica	Flusso di calore che passa attraverso una parete per m ² di superficie della parete e per grado K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo.

7.5 Parametri per il progetto termico dell'involucro

Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori dei parametri normalmente utilizzati per il progetto termico dell'elemento di fabbrica di confine.

Temperatura dell'aria esterna di progetto

Aosta	-10	Genova	0	Reggio Emilia	-5
Avellino	-2	L'Aquila	-5	Roma	0
Bari	0	Mantova	-5	Salerno	2
Benevento	-2	Milano	-5	Sondrio	-10
Bologna	-5	Napoli	2	Torino	-8
Cagliari	3	Padova	-5	Trento	-12
Campobasso	-4	Palermo	5	Trieste	-5
Caserta	0	Perugia	-2	Udine	-5
Ferrara	-5	Potenza	-3	Venezia	-5
Firenze	0	Reggio Calabria	3	Verona	-5
				Vicenza	-5

Resistenze termiche superficiali $(1/\alpha_i + 1/\alpha_e)$ [$\text{m}^2 \text{ K/W}$]

Inclinazione della parete e verso del flusso termico	Velocità del vento sul contorno esterno	
	$w \leq 4 \text{ m/sec}$	$w > 4 \text{ m/sec}$
Parete verticale o inclinata sul piano orizzontale di un	$0,11 + 0,06$ $= 0,17$	$0,11 + 0,86 / (2 + 9$ $\sqrt{w})$

angolo $> 60^\circ$		
Parete orizzontale o inclinata sul piano orizzontale di un angolo $\leq 60^\circ$		
- flusso ascendente	$0,09 + 0,05$ $= 0,14$	$0,09 + 0,86 / (2 + 9 \sqrt{w})$
- flusso discendente	$0,17 + 0,05$ $= 0,22$	$0,17 + 0,86 / [0,7 (2 + 9 \sqrt{w})]$

Resistenza delle lame d'aria $[m^2 K / W]$

		Spessore lama d'aria [mm]					
Posizione della lama d'aria e verso del flusso termico	5 ÷ 7	7,1 ÷ 9	9,1 ÷ 11	11,1 ÷ 13	14 ÷ 24	25 ÷ 50	55 ÷ 300
Lama d'aria orizzontale o inclinata sul piano orizzontale di un angolo $< 60^\circ$							
- flusso ascendente	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
- flusso discendente	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20
Lama d'aria verticale o inclinata sul piano orizzontale di un angolo $> 60^\circ$							
0,11	0,13'	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	

3,10			
Mattoni pieni	25	Calcestruzzo	15
Intonaco interno	2	Intonaco interno	2

C) Muri in mattoni forati					G) Pareti in calcestruzzo armato				
C. 1)									
Intonaco esterno		2	29	1,60	Intonaco esterno		2	34	2,40
Mattoni forati		25	Calcestruzzo			30			
Intonaco interno		2	Intonaco interno			2			
					G. 2)				
D) Muri in blocchi stampati e pressati					Intonaco esterno		2	24	2,90
D. 1)						Calcestruzzo		20	
Intonaco esterno			2	42	1,06	Intonaco interno		2	
Blocchi pomicemento		38	G. 3)						
Intonaco interno		2	Intonaco esterno		2	19	3,20		
D. 2)						Calcestruzzo		15	
Intonaco esterno			2	29	1,45	Intonaco interno		2	
Blocchi pomicemento		25							
Intonaco interno		2							

Permeabilità dei materiali da costruzione

Permeabilità	μ (g/m h mm Hg)	Permeabilità	μ (g/m h mm Hg)
Muratura di mattoni	14÷35 E-3	Poliuretano (40 Kg/mc)	2 E-3

Calcestruzzo cementizio	3÷4 E-3	Schiuma PVC (33 Kg/mc)	0,35 E-3
Calcestruzzo cellulare	10÷20 E-3	Sughero (175 Kg/mc)	3,5 E-3
Calcestruzzo leggero	8÷15 E-3	Schiuma di vetro	0,1÷0,05 E-3
Malta comune	3÷8 E-3	Pannelli di gesso	1,06 E-2
Gesso	13 E-3	Pannelli di cemento amianto	1,70 E-3
Cuscinetto d'aria	90 E-3	Muratura di pietrame	5,67 E-3
Fibre minerali	50÷70 E-3	Mattoni di Klinker	8,50 E-4
Polistirolo espanso (20 Kg/mc)		Mattoni forati	8,50 E-3
stato umido	2,25 E-3	Pannelli in fibra di legno	
stato secco	0,80 E-3	d < 15 mm	1,70 E-2
Cartonfeltro bituminato	3,40 E-5	d > 5 mm	4,25 E-2
		Foglio di Alu	0,00

Caratteristiche dei prodotti isolanti minerali

Materiale	Resistenza				C [bar]	λ a 20 °C [W/m K]
	AC		AB		F	U
Fibre di vetro	bn	bn	bn	bn	0,002 a 0,5	0,032 a 0,040

Vetro cellulare						
$\gamma = 125\text{Kg/mc}$	bn	bn	bn	bn		0,050
$\gamma = 135\text{Kg/mc}$	bn	bn	bn	bn		0,052
Lana di roccia	bn	bn	bn	bn	0,015 a 0,060	0,032 a 0,061
Perlite sciolta	bn	bn	bn	bn		0,050
Perlite conglomerata	bn	bn	bn	bn	15 a 30	0,24 a 0,31
Vermiculite sciolta	bn	bn	bn	bn		0,05 a 0,059
Vermiculite conglomerata	bn	bn	bn	bn	8 a 15	0,13 a 0,23
Argilla espansa sciolta	bn	bn	bn	bn		0,087
Legenda						
AC	Agenti chimici	U	Umidità	bn	buona	
AB	Agenti biologici	C	Compressione	sf	sufficiente	
F	Fuoco			sc	scarsa	

Caratteristiche dei prodotti isolanti vegetali

Materiale	Resistenza				C [bar]	λ a 20 °C [W/m K]
	AC		AB		F	U
Sughero agglomerato espanso	bn	sf	sc	sc	3	0,038 a 0,043
Pannelli in fibre di legno	bn	sf	sc	sc	2,3	0,054 a 0,067

Pannelli di particelle lignee	bn	sf	sc	sc	2,0	0,15 a 0,16
Pannelli di paglia compressa	bn	sf	sc	sc		0,104 a 0,116
Pannelli in fibre di legno e cemento	bn	sf	bn	sf	2 a 3	0,093 a 0,151
Cellulosa	sf	sf	bn	sf		0,037
Legenda						
AC	Agenti chimici	U	Umidità	bn	buona	
AB	Agenti biologici	C	Compressione	sf	sufficiente	
F	Fuoco			sc	scarsa	

Caratteristiche dei prodotti isolanti di sintesi

Materiale	Resistenza				C [bar]	λ a 20 °C [W/m K]
	AC	AB	F	U		
Polistirolo espanso						
da blocchi ad umido	bn	bn	sf	sc	0,6 a 0,9	0,037 a 0,044
stabilizzato	bn	bn	sf	sc	1,2	0,034 a 0,040

termo-compresso	bn	bn	sf	bn	0,4 a 0,6	0,036 a 0,040
estruso	bn	bn	sf	bn	1,9 a 3,9	0,027 a 0,029
Poliuretano						
y = 35 Kg/mc	bn	bn	sf	sf	1,8	0,030
y = 50 Kg/mc	bn	bn	sf	sf	3	0,032
y = 60 Kg/mc	bn	bn	sf	sf	4	0,034
y = 70 Kg/mc	bn	bn	sf	sf	6	0,044
Policloruro di vinyle in schiuma rigida	bn	bn	sf	sf	2 a 12	0,031 a 0,033
Formofenolo in schiuma	bn	bn	sf	sc	2 a 6	0,037 a 0,041
Fornurea in schiuma	bn	bn	sf			0,031
Legenda						
AC	Agenti chimici	U	Umidità	bn	buona	
AB	Agenti biologici	C	Compressione	sf	sufficiente	
F	Fuoco			sc	scarsa	

Caratteristiche dei prodotti isolanti prefabbricati

Materiale	Peso specifico [Kg/m ³]	λ a 20 K [W/m K]
Calcestruzzo alleggerito		
con argilla espansa	1000	0,30
800		0,25
con polistirolo	800	0,25
500		0,11

con pomice	1000	0,30
	800	0,25
Calcestruzzo cellulare prodotto in stabilimento		
celcon	496 a 800	0,084
durox	592 a 832	0,11
siporex	496	0,10
termolite	452	0,16
siltong	600 a 800	0,12
Calcestruzzo cellulare prodotto in cantiere		
tipo leggero	300 a 600	0,06 a 0,11
tipo medio	700 a 1100	0,12 a 0,24
tipo pesante	1200 a 1600	0,25 a 0,50

Gradi-giorno di alcune località (D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412 e successive modificazioni)

Comune	Quota	Gradi-giorno	Comune	Quota	Gradi-giorno
[m s.l.m.]		[m s.l.m.]			
Agrigento	230	729	Lecce	49	1153
Alessandria	95	2559	Livorno	3	1408
Avellino	384	1742	Milano	122	2404

Bari	5	1185	Napoli	17	1034
Belluno	383	2936	Palermo	14	751
Benevento	135	1316	Perugia	493	2289
Bergamo	249	2533	Potenza	819	2472
Bologna	54	2259	Reggio Calabria	15	772
Bolzano	262	2791	Roma	20	1415
Caserta	68	1013	Sassari	225	1185
Catania	7	833	Sondrio	307	2755
Cosenza	238	1317	Taranto	15	1071
Firenze	50	1821	Torino	239	2617
Foggia	76	1530	Trento	194	2567
Genova	19	1435	Treviso	15	2378
L'Aquila	714	2514	Trieste	2 .	1929
La Spezia	3	1413	Udine	113	2323
			Venezia	1	2345

Valori della temperatura massima degli ambienti (DPR n. 412 , 26/08/1993)

Edificio			
Categoria	Tipo	Tmax [K]	tolleranza [K]
E1	edifici per residenze e assimilabili	20	2
E2	edifici per uffici e assimilabili	20	2
E3	edifici per ospedali	20 *	2
E4	edifici per attività ricreative o di culto e	20	2

	assimilabili		
E5	edifici per attività commerciali e assimilabili	20	2
E6	edifici per attività sportive	20 *	2
E7	edifici per attività scolastiche a tutti i livelli	20	2
E8	edifici per attività industriali e artigianali e assimilabili	18 *	2

(*) Il Regolamento DPR n. 412 del 26/8/1993 per questi edifici ammette la concessione di deroghe motivate al valore di T_{max}.

Valori limite dell'indice di prestazione energetica EPI, in kWh/m² anno, per la climatizzazione invernale, per Edifici della classe E 1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica									
	A		B		C		D	E		F
	gradi giorno	gradi giorno	gradi giorno	gradi giorno	gradi-giorno	gradi-giorno	gradi-giorno	gradi-giorno	gradi giorno	gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000

$\leq 0,2$	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
$\geq 0,9$	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2008, dell'indice di prestazione energetica EPI, in kWh/m² anno, per la climatizzazione invernale, per Edifici della classe E 1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica									
	A		B		C		D	E		F
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		gradi-giorno		gradi-giorno		gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000
$\leq 0,2$	9,5	9,5	14	14	23	23	37	37	52	52
$\geq 0,9$	41	41	55	55	78	78	100	100	133	133

Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica EPI, in kWh/m² anno, per la climatizzazione invernale, per Edifici della classe E 1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica									
	A		B		C		D	E		F
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		gradi-giorno		gradi-giorno		gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000

$\leq 0,2$	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
$\geq 0,9$	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Valori limite dell'indice di prestazione energetica EPI per la climatizzazione invernale, in kWh/m³ anno, per tutti gli altri edifici (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica										
A			B		C		D		E		F
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		gradi-giorno		gradi-giorno		gradi giorno	
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000	
≤ 0,2	2,5	2,5	4,5	4,5	7,5	7,5	12	12	16	16	

$\geq 0,9$	11	11	17	17	23	23	30	30	41	41
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2008, dell'indice di prestazione energetica EPI per la climatizzazione invernale, in kWh/m³ anno, per tutti gli altri edifici (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica									
	A		B		C		D	E		F
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		gradi-giorno		gradi-giorno		gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000
$\leq 0,2$	2,5	2,5	4,5	4,5	3,5	6,5	10,5	10,5	14,5	14,5
$\geq 0,9$	9	9	14	14	20	20	26	26	36	36

Valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica EPI per la climatizzazione invernale, in kWh/m³ anno, per tutti gli altri edifici (DL n. 311, 29/12/2006)

S/V	Zona Climatica									
	A		B		C		D	E		F
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		gradi-giorno		gradi-giorno		gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000
$\leq 0,2$	2,0	2,0	3,6	3,6	6	6	9,6	9,6	12,7	12,7

$\geq 0,9$	8,2	8,2	12,8	12,8	17,3	17,3	22,5	22,5	31	31
------------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	----	----

- S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento), il volume V;
- V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0,2-0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare. Per località caratterizzate da un numero di gradi giorno superiori a 3.001 i valori limite sono determinati per estrapolazione lineare, sulla base dei valori fissati per la zona climatica E.

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in $\text{W/m}^2 \text{K}$ (DL n. 311, 29/12/2006)

Zona Climatica	Dal 1 Gennaio 2006	Dal 1 Gennaio 2008	Dal 1 Gennaio 2010
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura espressa in $W/m^2 K$ (DL n. 311, 29/12/2006)

Zona Climatica	Dal 1 Gennaio 2006	Dal 1 Gennaio 2008	Dal 1 Gennaio 2010
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento espressa in $W/m^2 K$ (DL n. 311, 29/12/2006)

Zona Climatica	Dal 1 Gennaio 2006	Dal 1 Gennaio 2008	Dal 1 Gennaio 2010
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espressa in $W/m^2 K$ (DL n. 311, 29/12/2006)

Zona Climatica	Dal 1 Gennaio 2006	Dal 1 Gennaio 2008	Dal 1 Gennaio 2010
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,5	2,2
F	2,4	2,2	2,1

Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri espressa in $W/m^2 K$ (DL n. 311, 29/12/2006)

Zona Climatica	Dal 1 Gennaio 2006	Dal 1 Gennaio 2008	Dal 1 Gennaio 2010
A	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,4	2,7
C	3,0	2,3	2,1
D	2,6	2,1	1,9
E	2,4	1,9	1,7
F	2,3	1,7	1,3

Limiti di esercizio degli impianti termici (DPR n. 412 , 26/08/1993)

	Zona Climatica					
	A	B		C	D	E F
periodo	1° dicembre	1° dicembre	15 novembre	1° novembre	15 ottobre	Nessuna limitazione
	15 marzo	31 marzo		31 marzo	15 aprile	15 aprile
n. ore	6	8	10	12	14	Nessuna limitazione
n. ore totali	630	968	1370	1992	2562	

7.6 I principi di base della trasmissione del calore

Durante la stagione invernale l'involucro dell'edificio è interessato dal passaggio del calore prodotto all'interno verso l'ambiente esterno, caratterizzato da una temperatura più bassa.

La trasmissione del calore attraverso la tamponatura, dall'ambiente a temperatura maggior all'ambiente a temperatura minore, può avvenire per convezione, per irraggiamento e per conduzione.

Nella convezione, modo di propagazione tipico dei fluidi come l'aria, la propagazione del calore avviene con trasporto macroscopico di materia. Mentre nei fluidi si può avere anche trasporto di calore per convezione, il contrario non avviene mai nei solidi, nei quali la convezione non può aver luogo. La convezione costituisce il modo di trasporto di calore più sfruttato nelle applicazioni, come nelle caldaie e negli impianti di riscaldamento centralizzati. La convezione può essere naturale o forzata. Nella convezione naturale le porzioni di fluido più vicine alla sorgente di calore, quali i radiatori dell'impianto di riscaldamento, si dilatano diventando più leggere e meno dense di quelle sovrastanti. Le porzioni di fluido più calde prendono il posto di quelle più fredde, e viceversa, dando così luogo all'instaurarsi di una corrente fluida con trasporto di calore. Nel caso della convezione forzata, le correnti fluide sono provocate artificialmente e per effettuare il trasporto di calore è necessario compiere un lavoro esterno per mantenere le correnti nel fluido.

Nella conduzione la trasmissione di calore avviene in un mezzo solido, liquido o gassoso, dalle regioni a più alta temperatura verso quelle con temperatura minore per contatto molecolare diretto. Il principio alla base della conduzione è diverso a seconda della struttura fisica del corpo: nei gas la conduzione è dovuta alla diffusione atomica e molecolare, nei liquidi e nei solidi è dovuta ad onde elastiche;

nei materiali metallici è dovuto principalmente alla diffusione degli elettroni liberi mentre è trascurabile il contributo dell'oscillazione elastica del reticolo cristallino. La trasmissione per conduzione avviene quando si mettono due corpi a contatto uno con l'altro: il calore passa naturalmente dal corpo più caldo al corpo più freddo.

Nella conduzione il trasporto di calore avviene senza spostamento di massa. Un corpo caldo, i cui atomi vibrano in maniera sensibile, quando viene messo a contatto con un corpo più freddo cede parte della sua energia cinetica agli atomi del corpo più freddo. In questo modo anche questi ultimi iniziano a vibrare in maniera maggiore, segno che inizia ad aumentare la temperatura del corpo più freddo. Maggiore è la durata del contatto tra i due corpi, più elevata è l'energia cinetica che viene trasferita dagli atomi del corpo più caldo a quelli del corpo più freddo. Tale trasferimento dura fino a quando le due energie cinetiche non sono uguali, cioè fino a quando i due corpi non raggiungono la stessa temperatura. Ad esempio, riscaldando una sbarretta metallica ad una delle sue estremità, il calore si trasmette per conduzione progressivamente fino all'estremità opposta grazie alla propagazione delle vibrazioni tra tutti gli atomi che stanno vicini tra loro.

La velocità con la quale il calore si propaga varia da sostanza a sostanza. Nei metalli è elevata, mentre in altre sostanze come, ad esempio, il vetro, la plastica, ecc., è molto più piccola. Per questo motivi i primi sono definiti buoni conduttori del calore.

La modalità con cui avviene lo scambio di calore è paragonabile a quella che avviene nella conduzione elettrica: tutti i materiali che sono buoni conduttori elettrici, come il rame, l'argento, l'alluminio e i metalli in genere, sono anche buoni conduttori di calore. Reciprocamente tutti i buoni isolanti elettrici, come la plastica, la ceramica e il vetro, sono anche buoni isolanti termici.

Nell'irraggiamento la trasmissione di energia avviene attraverso l'emissione e l'assorbimento di radiazione elettromagnetica. L'irraggiamento è una forma di trasmissione dell'energia che, al contrario della conduzione e della convezione, non richiede contatto diretto tra gli scambiatori e non necessita di un mezzo per propagarsi.

In generale l'irraggiamento avviene tramite la radiazione di corpo nero dal corpo a temperatura maggiore che irradia più energia, a quello a temperatura minore che ne assorbe finché entrambi non raggiungono la stessa temperatura. In tal caso l'energia irradiata e quella assorbita si compensano. L'irraggiamento si presenta ad ogni temperatura e interessa ogni materiale, solido, liquido e gassoso.

La quantità di calore emessa da un corpo per irraggiamento è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura. Per questo motivo a basse temperature l'irraggiamento è responsabile di una frazione trascurabile del flusso di calore rispetto alla convezione e alla conduzione, ma al crescere della temperatura la sua importanza aumenta rapidamente fino a diventare il principale artefice della trasmissione del calore per temperature medio-alte.

Dal punto di vista fisico l'irraggiamento consiste nell'emissione di onde elettromagnetiche generate dagli atomi e dalle molecole del corpo che emettono fotoni di lunghezza d'onda proporzionale alla loro temperatura: per esempio i corpi a temperatura ambiente emettono fotoni nella gamma degli infrarossi, che per questo sono anche detti raggi termici; corpi molto freddi irradiano microonde (quelli vicini allo zero assoluto semplici onde radio), mentre i corpi molto caldi arrivano ad emettere luce visibile, dapprima rossa (temperatura del cosiddetto calor rosso, circa 700 K) poi sempre più bianca (temperatura del calor bianco, circa 1200 K).

Con riferimento ad una parete monostrato, costituita da materiale omogeneo (Fig. 3.1), di separazione tra l'ambiente interno, a temperatura T_i , e l'ambiente esterno, a temperatura T_e , in condizione invernale ($T_i > T_e$) e in regime stazionario, ovvero con il campo termico indipendente dal tempo, si instaura uno scambio di calore tra l'interno e l'esterno attraverso la parete che avviene in tre fasi: dall'ambiente interno al paramento interno della parete, dal paramento interno al paramento esterno della parete, dal paramento esterno della parete all'ambiente esterno.

Nella prima fase lo scambio avviene tra l'ambiente interno ed il paramento interno della parete per convezione e irraggiamento, ed è espresso dalla relazione:

$$\Phi = \alpha_i * S * (T_i - \theta_i)$$

dove:

Φ è il flusso termico in [W]

α_i è il coefficiente di adduzione superficiale interno in $[W/m^2 K]$

S è la superficie della parete in $[m^2]$

T_i è la temperatura interna in [K]

θ_i è la temperatura del paramento interno della parete in [K]

Dal punto di vista fisico il coefficiente di adduzione superficiale interno esprime il flusso termico che si instaura, tra l'ambiente interno ed il paramento interno della parete, per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico.

Il coefficiente di adduzione superficiale non dipende dal materiale della parete ma dalla direzione del flusso termico (orizzontale, verticale verso l'alto e verticale verso il basso) e dalla velocità dell'aria che lambisce la parete. L'influenza della velocità dell'aria sul valore di α_i risulta sensibile per valori della velocità superiori ai 4 m/s;

considerato, pertanto, che nell'ambiente confinato la velocità dell'aria è certamente inferiore ai 4 m/s, si può ritenere α_i dipendente soltanto dalla direzione del flusso termico. I valori di α_i sono riportati nella Tabella 3.2.

L'inverso del coefficiente di adduzione superficiale interno, $1/\alpha_i$ [m² K/W], rappresenta la resistenza superficiale interna.

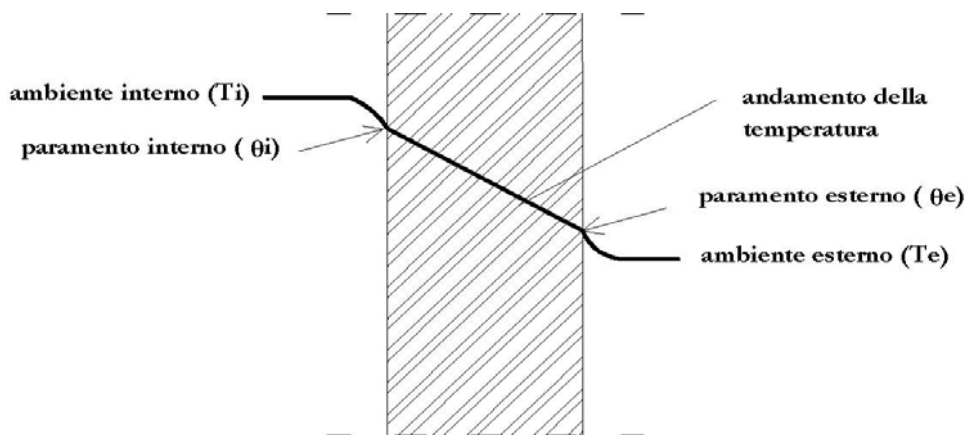


Fig. 3.1 – andamento della temperatura per una parete omogenea (ad esempio in gesso)

Nella seconda fase lo scambio avviene tra il paramento interno ed il paramento esterno della parete per conduzione, ed è espresso dalla relazione

$$\Phi = \frac{s_i}{\lambda_i} * S * (\vartheta_i - \vartheta_e)$$

dove:

Φ è il flusso termico in [W]

λ_i è il coefficiente di conduttività termica del materiale in [W/mK]

s_i è lo spessore della parete in [m]

S è la superficie della parete in $[m^2]$

θ_i è la temperatura del paramento interno della parete in $[K]$

θ_e è la temperatura del paramento esterno della parete in $[K]$

Dal punto di vista fisico il coefficiente di conduttività termica esprime il flusso termico che si istaura, tra il paramento interno ed il paramento esterno della parete, per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico e per ogni metro di spessore della parete.

Il coefficiente di conduttività termica dipende soltanto dal materiale costitutivo della parete. I valori di λ_i sono riportati nella Tabella 3.3.

Il rapporto s_i/λ_i $[m^2 K/W]$ rappresenta la resistenza termica offerta dalla sola parete al passaggio di calore.

Nella terza fase lo scambio avviene tra il paramento esterno della parete e l'ambiente esterno per convezione e irraggiamento, ed è espresso dalla relazione:

$$\Phi = \alpha_e * S * (\theta_e - T_e)$$

dove:

Φ è il flusso termico in $[W]$

α_e è il coefficiente di adduzione superficiale esterno in $[W/m^2 K]$

S è la superficie della parete in $[m^2]$

T_e è la temperatura esterna in $[K]$

θ_e è la temperatura del paramento interno della parete in $[K]$

Dal punto di vista fisico il coefficiente di adduzione superficiale esterno esprime il flusso termico che si istaura, tra il paramento esterno della parete e l'ambiente esterno, per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico.

Il coefficiente di adduzione superficiale non dipende dal materiale della parete ma dalla direzione del flusso termico (orizzontale, verticale verso l'alto e verticale verso il basso) e dalla velocità dell'aria che lambisce la parete. L'influenza della velocità dell'aria sul valore di α_e risulta sensibile per valori della velocità superiori ai 4 m/s. I valori di α_e sono riportati nella Tabella 3.2.

L'inverso del coefficiente di adduzione superficiale esterno, $1/\alpha_e$ [m² K/W], rappresenta la resistenza superficiale interna.

In condizione di regime stazionario, ovvero con il campo termico indipendente dal tempo, I tre flussi sono uguali per cui si può scrivere:

$$(T_i - \vartheta_i) = \frac{\Phi}{\alpha_i * S}$$

$$(\vartheta_i - \vartheta_e) = \frac{\Phi * \lambda_i}{s_i * S}$$

$$(\vartheta_e - T_e) = \frac{\Phi}{\alpha_e * S}$$

e, quindi, sommando membro a membro

$$(T_i - T_e) = \frac{\Phi}{S} * \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

e posto

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

si ha l'equazione generale che regola il flusso termico dall'interno all'esterno:

$$\Phi = U * S * (T_i - T_e)$$

Il coefficiente U [W/m² K] è il coefficiente di trasmissione termica della parete.

Nel caso più generale di parete pluristrato, con strati in materiale omogeneo e strati in materiale non omogeneo e con intercapedine, la resistenza termica della parete, $R=1/U$, diventa:

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum \frac{1}{C_j} + r_a + \frac{1}{\alpha_e}$$

dove:

α_i è il coefficiente di adduzione superficiale interno in [W/m² K]

α_e è il coefficiente di adduzione superficiale esterno in [W/m² K]

s_i è lo spessore dello strato omogeneo i-mo in [m]

λ_i è il coefficiente di conduttività termica dello strato i-mo in [W/mK]

C_j è il coefficiente di conduttanza dello strato j-mo non omogeneo in [W/m² K]

r_a è la resistenza termica della lama d'aria dell'intercapedine in [m² K/W]

Il coefficiente di conduttanza degli strati non omogenei esprime, dal punto di vista fisico, il flusso termico che si instaura, tra il paramento interno ed il paramento esterno dello strato, per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico tra i due paramenti.

La resistenza termica della lama d'aria esprime, dal punto di vista fisico, la resistenza termica offerta dalla sola lama d'aria al passaggio di calore.

In conclusione, può affermarsi che il flusso termico Φ che si instaura attraverso una tamponatura è direttamente proporzionale al salto termico esistente tra lo spazio interno e quello estero, è direttamente proporzionale alla superficie S della parete ed è inversamente proporzionale alla resistenza termica della parete R , comprensiva delle resistenze termiche superficiali.

Il flusso termico attraverso la parete determina salti termici sulle facce di ogni singolo strato che dipende, ovviamente, dal coefficiente di conduttività termica e dallo spessore dello strato. In particolare, la caduta di temperatura sarà tanto maggiore quanto minore è λ_i e quanto maggiore è lo spessore s_i dello strato. La caduta di temperatura tra le due facce dei vari strati che formano la tamponatura risulta, pertanto, direttamente proporzionale alla resistenza termica offerta dallo stesso strato.

In particolare, la caduta di temperatura potrà essere calcolata con le seguenti relazioni:

- per gli strati omogenei

$$\Delta\theta_i = \frac{\Phi}{S} * \frac{s_i}{\lambda_i}$$

- per gli strati non omogenei

$$\Delta\theta_j = \frac{\Phi}{S} * \frac{1}{C_j}$$

- per le lame d'aria

$$\Delta\theta_i = \frac{\Phi}{S} * r_a$$

7.7 Il progetto dell'isolamento termico nel rispetto delle disposizioni di legge

La legge 9 gennaio 1991 n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", il DPR 26 agosto 1993 n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia" e il DL 29 dicembre 2006 n. 311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/Ce, relativa al rendimento energetico nell'edilizia", al fine di contenere i consumi energetici impongono il rispetto di specifiche norme nella progettazione, nell'installazione, nell'esercizio e nella manutenzione degli impianti termici degli edifici pubblici e privati.

La normativa, in particolare, suddivide il territorio nazionale in sei zone climatiche che, indipendentemente dalla localizzazione geografica, sono definite in funzione dei gradi-giorno delle località.

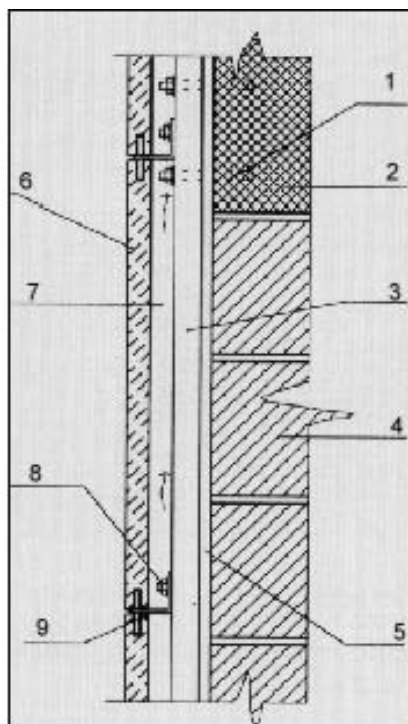
La zona climatica A comprende tutti i Comuni con gradi-giorno inferiori a 600; la zona B i Comuni con gradi-giorno compresi nell'intervallo 601-900; la zona C i Comuni con gradi-giorno compresi nell'intervallo 901-1400; la zona D i Comuni con gradi-giorno compresi nell'intervallo 1401-2100; la zona E i Comuni con gradi-giorno compresi nell'intervallo 2101-3000; la zona F i Comuni con gradi-giorno oltre 3000.

La normativa, inoltre, in relazione alla categoria dell'edificio fissa i valori massimi della temperatura da mantenere all'interno degli ambienti durante il periodo di funzionamento dell'impianto di climatizzazione dell'edificio. In particolare la norma individua le seguenti otto categorie di edifici:

- La categoria E.1 comprende gli edifici adibiti a residenza e assimilabili:

E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;

E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;



E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari.

- La categoria E.2 comprende gli edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;
- La categoria E.3 comprende gli edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-

dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici.

- La categoria E.4 comprende gli edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili:

E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunioni per congressi;

E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;

E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo.

- La categoria E.5 comprende gli edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni.

- La categoria E.6 comprende gli edifici adibiti ad attività sportive:

E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;

E.6 (2) palestre e assimilabili;

E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive.

- La categoria E.7 comprende gli edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili.

- La categoria E.8 comprende gli edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

La norma, inoltre, stabilisce che qualora un edificio sia costituito da parti individuali come appartenenti a categorie diverse, le stesse devono essere considerate separatamente e cioè ciascuna nella categoria che le compete.

In relazione alle zone climatiche la normativa fissa anche i limiti di esercizio degli impianti termici:

- Per la zona A un numero totale di ore di funzionamento pari a 630
- Per la zona B un numero totale di ore di funzionamento pari a 968
- Per la zona C un numero totale di ore di funzionamento pari a 1370
- Per la zona D un numero totale di ore di funzionamento pari a 1992

- Per la zona E un numero totale di ore di funzionamento pari a 2562
- Per la zona F nessuna limitazione.

Il Regolamento di cui al DPR n. 412 fissava, inoltre, il coefficiente di dispersione volumica dell'involucro dell'edificio

$$C_d = \frac{\Phi}{V * \Delta T}$$

che esprime il flusso disperdibile per metro cubo di edificio riscaldato e per ogni grado di salto termico.

In merito al coefficiente di dispersione volumica il regolamento stabiliva poi che il C_d non doveva superare i limiti fissati da DM 30 luglio 1986, , in funzione della zona climatica di localizzazione dell'edificio e del coefficiente di forma S/V [m⁻¹], rapporto tra la superficie S dell'involucro che delimita le parti di edificio riscaldato ed il volume lordo V di tali parti.

Si doveva quindi procedere al progetto dell'isolamento termico dell'involucro dell'edificio in modo da contenere, nel limite del C_d ammissibile, le dispersioni di calore per trasmissione per ogni metro cubo di edificio riscaldato e per ogni grado di salto termico di progetto $\Delta T = T_i - T_e$.

Il DL 29 dicembre 2006 n. 311 “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/Ce, relativa al rendimento energetico nell’edilizia”, invece, fissa sia i valori limite della trasmittanza termica U dei diversi componenti che definiscono l’involucro dell’edificio sia i valori limite dell’indice di Prestazione Energetica EP, per le varie categorie di edifici, in funzione della zona climatica del rapporto di forma.

In particolare il DL n. 311, stabilisce tre livelli per i suddetti limiti: il primo livello in vigore dall'approvazione della norma; il secondo livello in vigore dal 1° gennaio 2008; il terzo livello in vigore dal 1° gennaio 2010.

Premesso che l'indice EP esprime i kWh disperdibili in un anno per metro quadrato (o per metro cubo) di edificio climatizzato, la sequenza logica delle fasi di calcolo può essere schematizzata come di seguito riportato.

a) Assegnazione della trasmittanza delle chiusure d'ambito dell'edificio

Con riferimento all'involucro disperdente dell'edificio occorre valutare la trasmittanza relativamente a ciascuna tipologia costruttiva adottata.

In particolare, occorre valutare il valore di U per i seguenti elementi:

- strutture opache verticali, in $\text{W/m}^2 \text{ K}$;
- strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, in $\text{W/m}^2 \text{ K}$;
- strutture opache orizzontali di pavimento, in $\text{W/m}^2 \text{ K}$;
- pareti traslucide, e/o trasparenti, per ciascun tipo, in $\text{W/m}^2 \text{ K}$;
- ponti termici, per ciascun tipo, in W/m K .

b) Verifica dei limiti di trasmittanza delle chiusure d'ambito imposti dalla legge

Occorre verificare che i valori di progetto delle trasmittanza rispettino i limiti della norma .

Indicato con U_i la trasmittanza di progetto dell'elemento i-mo dell'involucro e con U_i^* il corrispondente valore massimo di legge, dovrà essere:

$$U_i \leq U_i^*$$

Se la condizione non è soddisfatta, scelto un materiale coibente caratterizzato da conduttività λ_c , occorrerà incrementare la resistenza termica dell'i-mo elemento dell'involucro della quantità:

$$\frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{1}{U_i^*} - \frac{1}{U_i}$$

c) Determinazione flusso termico per metro cubo (o per metro quadrato) di edificio riscaldato e dell'indice EP

Assegnati i valori della trasmittanza degli elementi disperdenti dell'involucro nel rispetto dei limiti imposti dalla legge, si procede al calcolo del flusso termico totale che si disperde attraverso l'involucro:

$$\Phi_{tot} = \sum_i U_i * S_i * (T_i - T_e) \quad [W]$$

dove:

Φ_{tot} è il flusso termico complessivo disperso

\sum_i è la sommatoria dei flussi dispersi estesa a tutti gli elementi disperdenti (strutture opache verticali, strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, strutture opache orizzontali di pavimento, pareti traslucide, e/o trasparenti, ponti termici)

U_i è il coefficiente di trasmittanza dell'elemento i-mo dell'involucro

S_i è la superficie in metri quadrati dello i-mo elemento disperdente

T_i è la temperatura interna di progetto

T_e è la temperatura esterna di progetto

Stabilito il numero di ore N di funzionamento dell'impianto in un anno, si ricavano i kWh corrispondenti ai watt del flusso totale

$$\Phi_{tot}^{kWh} = 10^3 \Phi_{tot} * N \quad [kWh]$$

In relazione alla categoria di edificio si calcola l'indice di prestazione energetica EP, dividendo i kwattore per la superficie totale riscaldata, per gli edifici E1:

$$EP = \frac{\Phi_{tot}^{kWh}}{S_{tot}} \quad [kWh/m^2]$$

ovvero per i metri cubi riscaldati, per tutti gli altri edifici:

$$EP = \frac{\Phi_{tot}^{kWh}}{V_{tot}} \quad [kWh/m^3]$$

d) Determinazione dell'indice EP^a ammissibile e verifica

In funzione del rapporto di forma S/V e della zona climatica in cui ricade l'edificio, si determina, mediante interpolazioni lineari, il valore limite dell'indice di prestazione energetica EP^a.

Se risulta:

$$EP \leq EP^a$$

le dispersioni dall'involucro rientrano nei limiti imposti dalla legge.

Se, invece, risulta:

$$EP > EP^a$$

si dovrà intervenire aumentando la resistenza termica dell'involucro per ridurre le dispersioni nei limiti della legge.

Capitolo 8

Repertorio di soluzione di chiusure opache

8.1 Le soluzioni tecnologiche per le tamponature in blocchi

Con i blocchi alleggeriti, semipieni e pieni, è possibile costruire murature a doppia foderà che, grazie alla presenza della camera d'aria interposta, possono dare un certo grado di isolamento che può essere incrementato inserendo nell'intercapedine un isolante termico in lastre.

Occorre osservare che camere d'aria della larghezza di 5-6 cm isolano in misura migliore di quelle di maggiore dimensione in quanto in esse non si verificano moti convettivi che trasportano calore dal paramento caldo a quello freddo; possiamo ancora osservare che una tamponatura realizzata nelle maglie del telaio strutturale perimetrale non impedisce le dispersioni attraverso i ponti termici costituiti dagli elementi strutturali, a meno che non si adottino speciali provvedimenti.

In questi ultimi anni si vanno sperimentando ed introducendo sul mercato edilizio blocchi in laterizio o in calcestruzzo di argilla espansa che, attraverso il disegno della sezione con camere d'aria multiple, incrementano il valore isolante della parete.

In particolare, si parla di blocchi quando il loro volume supera i 7500 cm³.

In relazione alla percentuale di foratura “ φ ” ed all’area media della sezione normale di un foro “ F ”, si distinguono le seguenti categorie di elementi lapidei artificiali:

- Elementi artificiali pieni $\varphi \leq 15\%$ $f \leq 9 \text{ cm}^2$ $s \geq 12 \text{ cm}$
- Elementi artificiali semi pieni $15\% \leq \varphi \leq 45\%$ $f \leq 12 \text{ cm}^2$ $s \geq 20 \text{ cm}$
- Elementi artificiali forati $45\% \leq \varphi \leq 55\%$ $f \leq 15 \text{ cm}^2$ $s \geq 25 \text{ cm}$

dove s indica il minimo spessore di muratura ottenibile al netto dell’intonaco.

La percentuale di foratura è espressa dalla relazione

$$\varphi = 100 \frac{F}{A}$$

dove

- F è l’area complessiva dei fori passanti e profondi non passanti
- A è l’area lorda della faccia delimitata dal suo perimetro

Le murature in mattoni forati hanno un peso specifico di circa 1200 kg/m^3 con una resistenza a compressione di $0,25 \text{ N/mm}^2$; pertanto una parete a doppia foderà, costituita da una foderà esterna da 12 cm , una intercapedine di 6 cm ed una foderà interna da 8 cm , avrà un peso di 230 kg/m^2 , di gran lunga inferiore a quello, ad esempio, di una parete in muratura di tufo dello spessore totale di 25 cm che pesa circa 450 kg/m^2 .

Di contro occorre osservare che una parete a doppia foderà in forati pone problemi di resistenza agli urti accidentali, che ne sconsigliano l’impiego nei piani terra; di difesa dagli agenti atmosferici, specialmente in relazione alla impermeabilità all’acqua della pioggia battente; di sicurezza alle effrazioni in quanto è facilmente praticabile in essa

un buco. È quindi necessario, per migliorare la resistenza meccanica della parete, legare le due fodere con elementi che le rendano collaboranti; per evitare passaggi di acqua nella intercapedine, suggellare accuratamente i giunti tra i conci e rivestire almeno con intonaco di malta bastarda sia la faccia esterna che quella interna della fodera esterna.

Per le tamponature realizzate in opera nella maggior parte dei casi vengono impiegati laterizi (pieni, semipieni e forati), blocchi di lapillo-cemento, pannelli in gesso, blocchi di calcestruzzo autoclavato, conci lapidei naturali (tufo vulcanico, tufo calcareo), ecc. Risultano, inoltre, impiegati materiali complementari quali malte, collanti, coibenti termici, isolanti acustici, materiali impermeabili, ecc. Le soluzioni tecnologiche più comunemente impiegate per la realizzazione delle tamponature a blocco possono essere realizzate come di seguito specificato.

8.2.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato di rivestimento esterno continuo (PV 1.1)

Con riferimento alla figura 1, e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

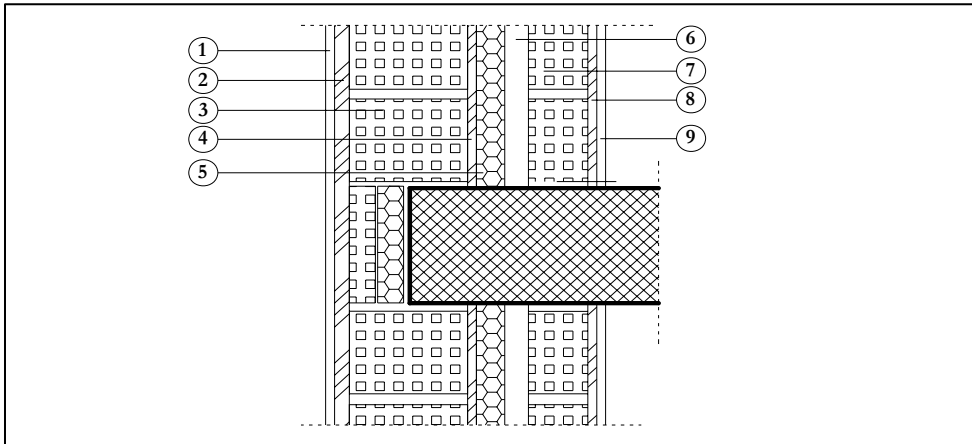


Fig. 1

1. Strato di finitura esterno continuo con idropittura traspirante e idrorepellente, a tre mani, con rasatura e imprimitura del supporto.
2. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. complessivo cm 2,5);
3. Strato portante con blocchi di laterizi forati 25x25x25 cm, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda, (sp. 25 cm);
4. Strato di regolarizzazione e di tenuta con intonaco rustico di malta di calce idrata e pozzolana, composta da 200 kg di calce idrata per 1,1 m³ di pozzolana vagliata

(sp. 1 cm)

5. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m^3 , reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm^2 , trattata con resine termoindurenti, conduttività $0,0429 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 5.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35 kg/m^3 con pelle per isolante termico, con trattamento antifiama (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività $0,033 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 5.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m^3 , conduttività $0,0451 \text{ w/mK}$ (sp. Variabile);
6. Intercapedine d'aria con flusso orizzontale (Sp. Variabile);
7. Strato portante interno con mattoni di laterizi forati $8 \times 12 \text{ cm}$, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda (sp. 8 cm);
8. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m^3 di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);
9. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 1.1:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

Strato		Cond (W/ m²k)	Res. (m²k/W)	Spess. (cm.)
1-2	Strato di finitura, continuo e regolarizzazione esterno	56,000	0,018	2,50
3	Strato portante esterno	1,299	0,770	25,00
4	Strato di regolarizzazione e tenuta	90,000	0,011	1,00
5-5.1-5.2	Strato di coibentazione	Valori variabili in funzione della trasmittanza limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
6	Intercapedine			
7	Strato portante interno	5,000	0,200	8,00
8-9	Strato di regolarizzazzione e finitura continuo, interno	93,333	0,011	1,50
Totale		U ^o = 245,632	R ^o = 1,01	47,00

Valutazione economica della soluzione PV 1.1 al m²

Strato	Costo materiale	Costo	Costo totale
---------------	------------------------	--------------	---------------------

		€/m ²	manodopera €/m ²	€/m ²
1	Strato di finitura continuo esterno	5,75	6,25	12,00
2	Strato di regolarizzazione esterno	6,00	10,00	16,00
3	Strato portante esterno	12,80	10,00	22,80
4	Strato di regolarizzazione e tenuta	2,00	2,00	4,00
5-5.1-5.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
6	Intercapedine	0,00	0,00	0,00
7	Strato portante interno	5,12	10,00	15,12
8	Strato di regolarizzazione interno	6,50	8,50	15,00
9	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		C ¹ = 41,17	C ² = 53,75	94,92+ Coibente

8.2.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato di rivestimento esterno continuo (PV 1.2)

Con riferimento alla figura 2, e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

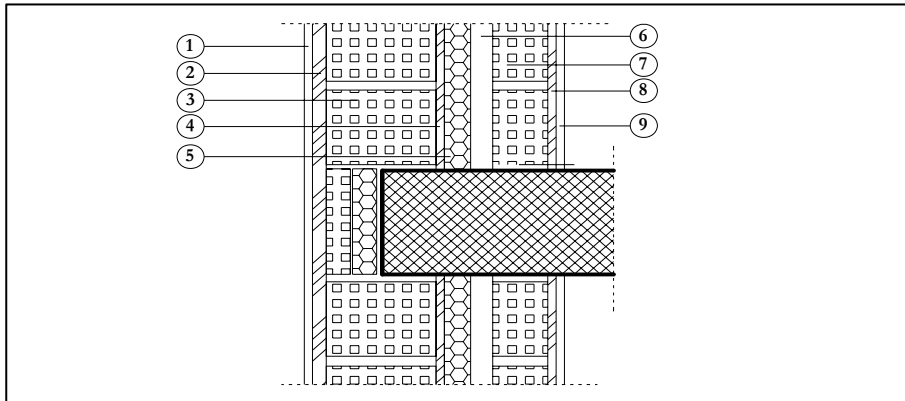


Fig. 2

1. Strato di finitura esterno continuo con idropittura traspirante e idrorepellente, a tre mani, con rasatura e imprimitura del supporto.
2. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. complessivo cm 2,5);
3. Strato portante con mattoni forati 25x25x25 cm, ad alta resistenza meccanica,(Tipo POROTON) con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 30%, con malta bastarda, (sp. 25 cm);
4. Strato di regolarizzazione e di tenuta con intonaco rustico di malta di calce idrata e pozzolana, composta da 200 kg di calce idrata per 1,1 m³ di pozzolana vagliata (sp. 1 cm)
5. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m³, reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7

kg/cm², trattata con resine termoindurenti, conduttività 0,0429 W/mK (sp. Variabile) ;

- 5.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35kg/m³ con pelle per isolante termico, con trattamento antifiama (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività 0,033W/mK (sp. Variabile);
 - 5.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m³, conduttività 0,0451 w/mK (sp. Variabile);
6. Intercapedine d'aria con flusso orizzontale (Sp. Variabile);
 7. Strato portante interno con blocchi di laterizi forati 8x12 cm, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda (sp. 8 cm);
 8. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);
 9. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 1.2:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

<i>Strato</i>		<i>Cond</i> (W/ <i>m²k</i>)	<i>Res.</i> (<i>m²k</i> /W)	<i>Spess.</i> (<i>cm.</i>)
1-2	Strato di finitura, continuo e regolarizzazione esterno	56,000	0,018	2,50
3	Strato portante esterno	1,299	1,012	25,00
4	Strato di regolarizzazione e tenuta	90,000	0,011	1,00
5-5.1-5.2	Strato di coibentazione	Valori variabili in funzione della trasmittanza limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
6	Intercapedine			
7	Strato portante interno	5,000	0,200	8,00
8-9	Strato di regolarizzazione e finitura continuo, interno	93,333	0,011	1,50
Totale		U°= 245,562	Co= 1,252	47,00

Valutazione economica della soluzione PV 1.2 al m²

<i>Strato</i>		<i>Costo materiale</i> €/m ²	<i>Costo manodopera</i> €/m ²	<i>Costo totale</i> €/m ²
1	Strato di finitura continuo esterno	5,75	6,25	12,00

2	Strato di regolarizzazione esterno	6,00	10,00	16,00
3	Strato portante esterno	35,25	15,00	50,25
4	Strato di regolarizzazione e tenuta	2,00	2,00	4,00
5-5.1- 5.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
6	Intercapedine	0,00	0,00	0,00
7	Strato portante interno	5,12	10,00	15,12
8	Strato di regolarizzazione interno	6,50	8,50	15,00
9	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		$C^1 = 63,62$	$C^2 = 58,75$	122,37+ Coibente

8.3.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato portante esterno a facciavista (PV 2.1)

Con riferimento alla figura 3 , e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

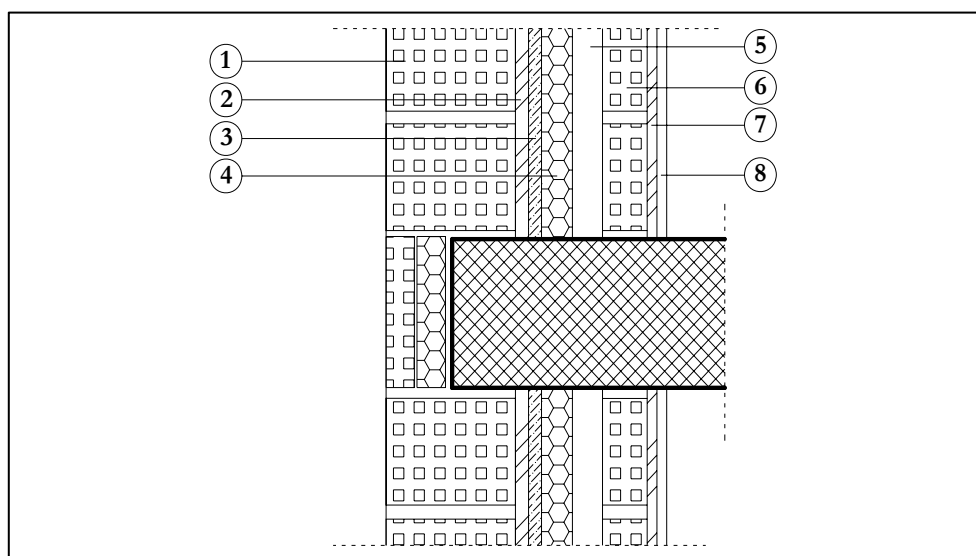


Fig. 3

1. Strato di portante e di finitura esterno con mattoni trafiletti a finitura sabbia 5x12x25 cm (sp. 25 cm) e malta bastarda, con pulitura, stuccatura e stilatura dei giunti;
2. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco rustico, steso a mano e costituito da un primo strato di rinzafo e da un secondo strato tirato in piano a frattazzo rustico, di malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. 1,5 cm);
3. Strato di collegamento con collante
4. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m³, reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm², trattata con resine termoindurenti, conduttività 0,0429 W/mK (sp. Variabile) ;
 - 4.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35kg/m³ con pelle per isolante termico, con trattamento antifiamma (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività 0,033W/mK (sp. Variabile);
 - 4.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m³, conduttività 0,0451 w/mK (sp. Variabile);
5. Intercapedine d'aria con flusso orizzontale (Sp. Variabile)
6. Strato portante interno con blocchi di laterizi forati 8x12 cm, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda, (sp. 8 cm);
7. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta

di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);

8. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 2.1:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

Strato		Cond (W/ m²k)	Res. (m²k/W)	Spess. (cm.)
1	Strato portante e di finitura, esterno	2,073	0,370	25,00
2-3	Strato di regolarizzazione e tenuta, Strato di collegamento	93,333	0,011	1,50
4-4.1-4.2	Strato di	Valori variabili i funzione della trasmittanza		

	coibentazione	limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
5	Intercapedine			
6	Strato portante interno	5,000	0,200	8,00
7-8	Strato di regolarizzazione e finitura continuo, interno	93,333	0,011	1,50
Totale		U°= 193,739	R°= 0,592	45,00

Valutazione economica della soluzione PV 2.1 al m²

<i>Strato</i>		<i>Costo materiale</i> €/m ²	<i>Costo manodopera</i> €/m ²	<i>Costo totale</i> €/m ²
1	Strato portante esterno	18,50	25,00	35,50
2	Strato di regolarizzazione e tenuta	2,00	2,00	4,00
3	Strato di collegamento	3,00	1,00	4,00
4-4.1-4.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
5	Intercapedine	0,00	0,00	0,00
6	Strato portante interno	5,12	10,00	15,12
7	Strato di	6,50	8,50	15,00

	regolarizzazione interno			
8	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		$C^1 = 38,12$	$C^2 = 53,50$	91,62+ Coibente

8.3.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato coibente intermedio e strato portante esterno a facciavista (PV 2.2)

Con riferimento alla figura 4 , e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

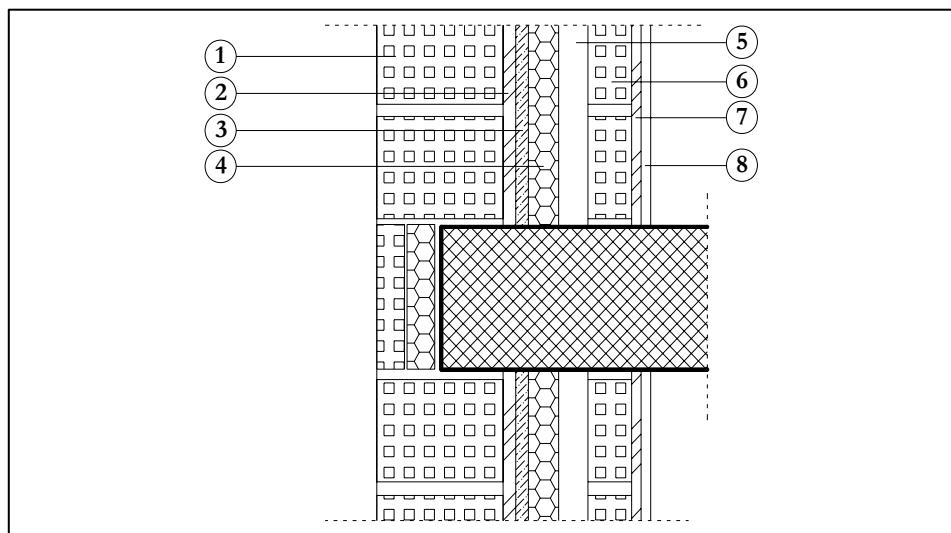


Fig. 4

1. Strato di portante e di finitura esterno con blocchi forati rifiniti a faccia vista da un lato (Tipo LECA) , ad alta resistenza meccanica, con giacitura dei fori

orizzontali e percentuale di foratura pari al 30%, 12x12x25 cm (sp. 25 cm) a finitura sabbia e malta bastarda, con pulitura, stuccatura e stilatura dei giunti;

2. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco rustico, steso a mano e costituito da un primo strato di rinzafo e da un secondo strato tirato in piano a frattazzo rustico, di malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. 1,5 cm);
3. Strato di collegamento con collante
4. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m³, reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm², trattata con resine termoindurenti, conduttività 0,0429 W/mK (sp. Variabile);
 - 4.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35kg/m³ con pelle per isolante termico, con trattamento antifiama (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività 0,033W/mK (sp. Variabile);
 - 4.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m³, conduttività 0,0451 w/mK (sp. Variabile);
5. Intercapedine d'aria con flusso orizzontale (Sp. Variabile)
6. Strato portante interno con blocchi di laterizi forati 8x12 cm, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda, (sp. 8 cm);
7. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m³ di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);
8. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con

imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 2.2:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

Strato		Cond (W/ m²k)	Res. (m²k/W)	Spess. (cm.)
1	Strato portante e di finitura, esterno	0,988	1,012	25,00
2-3	Strato di regolarizzazione e tenuta, Strato di collegamento	93,333	0,011	1,50
4-4.1-4.2	Strato di coibentazione	Valori variabili i funzione della trasmittanza limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
5	Intercapedine			

6	Strato portante interno	5,000	0,200	8,00
7-8	Strato di regolarizzazzazione e finitura continuo, interno	93,333	0,011	1,50
Totale		U°= 192,654	R°= 1,234	45,00

Valutazione economica della soluzione PV 2.2 al m²

<i>Strato</i>		<i>Costo materiale</i> €/m ²	<i>Costo manodopera</i> €/m ²	<i>Costo totale</i> €/m ²
1	Strato portante esterno	43,25	25,00	68,25
2	Strato di regolarizzazione e tenuta	2,00	2,00	4,00
3	Strato di collegamento	3,00	1,00	4,00
4-4.1-4.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
5	Intercapedine	0,00	0,00	0,00
6	Strato portante interno	5,12	10,00	15,12
7	Strato di regolarizzazzazione interno	6,50	8,50	15,00

8	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		$C^1 = 62,87$	$C^2 = 53,50$	116,37+ Coibente

8.4.1 Soluzione tecnologica pluristrato con strato di ventilazione, strato coibente esterno e strato di finitura esterno discontinuo (PV 3.1)

Con riferimento alla figura 5, e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

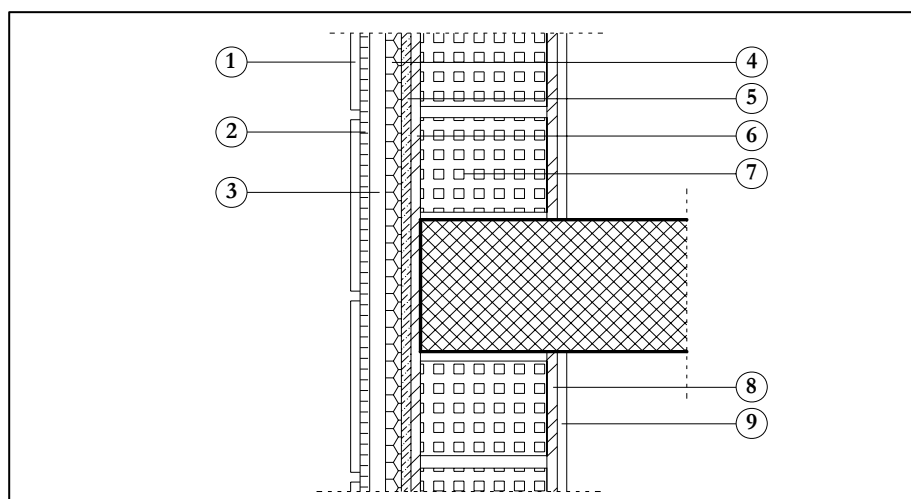


Fig. 5

1. Strato di finitura esterno discontinuo e tenuta all'acqua con lastre di ceramica montate su struttura metallica leggera;
2. Struttura metallica leggera;
3. Intercapedine di ventilazione (Sp. Variabile);

-
4. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m^3 , reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm^2 , trattata con resine termoindurenti, conduttività $0,0429 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 4.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35 kg/m^3 con pelle per isolante termico, con trattamento antifiama (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività $0,033 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 4.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m^3 , conduttività $0,0451 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 5. Strato di collegamento con collante;
 6. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco rustico, steso a mano e costituito da un primo strato di rinzafo e da un secondo strato tirato in piano a frattazzo rustico, di malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m^3 di sabbia (sp. 1,5 cm);
 7. Strato portante con blocchi di laterizi forati $25 \times 25 \times 25 \text{ cm}$, con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 60%, con malta bastarda, (sp. 25 cm);
 8. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m^3 di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);
 9. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 3.1:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

Strato		Cond (W/ m²k)	Res. (m²k/W)	Spess. (cm.)
1-2	Strato di finitura, esterno discontinuo, su struttura metallica	260,000	0,010	1,00
3	Intercapedine ventilata	Valori variabili i funzione della trasmittanza limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
4-4.1-4.2	Strato di coibentazione			
5-6	Strato di collegamento e regolarizzazzione	93,333	0,011	1,50
7	Strato portante interno	1,250	0,800	25,00

8-9	Strato di regolarizzazione e finitura continuo, interno	93,333	0,011	1,50
Totale		U°= 447,916	R°= 0,832	38,50

Valutazione economica della soluzione PV 3.1 al m²

<i>Strato</i>		<i>Costo materiale €/m²</i>	<i>Costo manodopera €/m²</i>	<i>Costo totale €/m²</i>
1-2	Strato di finitura esterno, discontinuo, su struttura metallica	23,50	20,00	43,50
3	Intercapedine ventilata	0,00	0,00	0,00
4-4.1- 4.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
5-6	Strato di collegamento e regolarizzazione	6,50	8,50	15,00
7	Strato portante interno	12,80	10,00	22,80
8	Strato di regolarizzazione interno	6,50	8,50	15,00
9	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		C ¹ = 52,30	C ² = 54,00	106,30+

			Coibente
--	--	--	----------

8.4.2 Soluzione tecnologica pluristrato con strato di ventilazione, strato coibente esterno e strato di finitura esterno discontinuo (PV 3.2)

Con riferimento alla figura 6, e procedendo dall'esterno verso l'interno, la soluzione si caratterizza per i seguenti materiali:

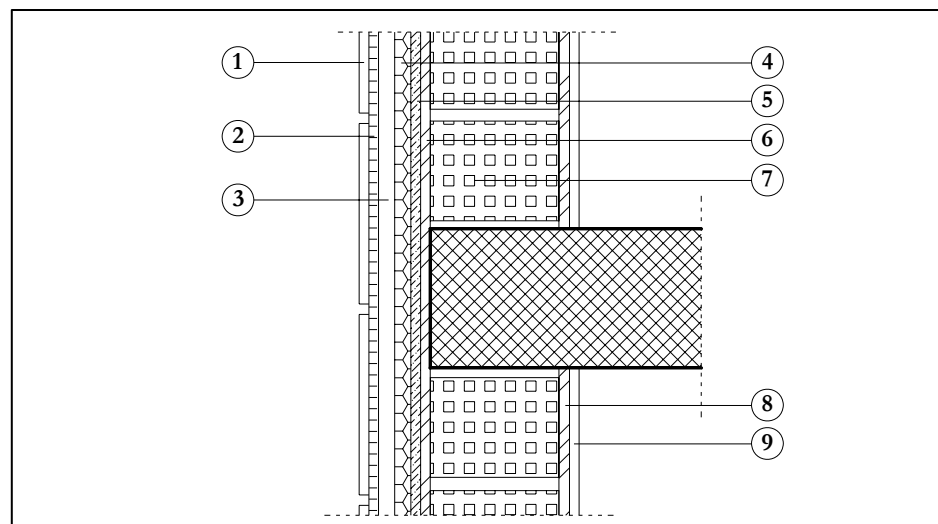


Fig. 6

1. Strato di finitura esterno discontinuo e tenuta all'acqua con lastre di ceramica montate su struttura metallica leggera;
2. Struttura metallica leggera;

3. Intercapedine di ventilazione (Sp. Variabile);
4. Strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m^3 , reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm^2 , trattata con resine termoindurenti, conduttività $0,0429 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 4.1 Strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35 kg/m^3 con pelle per isolante termico, con trattamento antifiama (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività $0,033 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
 - 4.2 Strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m^3 , conduttività $0,0451 \text{ W/mK}$ (sp. Variabile);
5. Strato di collegamento con collante;
6. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco rustico, steso a mano e costituito da un primo strato di rinzafo e da un secondo strato tirato in piano a frattazzo rustico, di malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m^3 di sabbia (sp. 1,5 cm);
7. Strato portante con mattoni forati $25 \times 25 \times 25 \text{ cm}$, ad alta resistenza meccanica, (Tipo POROTON) con giacitura dei fori orizzontali e percentuale dei foratura pari al 30%, con malta bastarda, (sp. 25 cm);
8. Strato di regolarizzazione e tenuta con intonaco civile formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzo, steso a mano, con predisposte poste e guide, rifinito con sovrastante strato di colla di malta passata al crivello fino, lisciata con frattazzo metallico alla pezza, con malta di cemento tipo 32,5 e sabbia, composta da 400 kg di cemento per 1 m^3 di sabbia (sp. complessivo cm 1,5);
9. Strato di finitura interno continuo con idropittura traspirante a tre mani, con imprimitura e rasatura del supporto.

Caratteristiche termiche PV 3.2:

Resistenza superficiale interna	0,130 m ² k/W
Resistenza Superficiale Esterna	0,040 m ² k/W
Trasmittanza totale	W/ m ² k = valore variabile in f. dello spessore del coibente

Strato		Cond (W/ m²k)	Res. (m²k/W)	Spess. (cm.)
1-2	Strato di finitura, esterno discontinuo, su struttura metallica	260,000	0,010	1,00
3	Intercapedine ventilata	Valori variabili i funzione della trasmittanza limite della zona climatica , lo spessore totale dei due strati sarà comunque di 9 cm		
4-4.1-4.2	Strato di coibentazione			
5-6	Strato di collegamento e regolarizzazzione	93,333	0,011	1,50
7	Strato portante interno	0,988	1,012	25,00
8-9	Strato di	93,333	0,011	1,50

	regolarizzazione e finitura continuo, interno			
Totale		Uo= 447,654	Ro= 1,044	38,50

Valutazione economica della soluzione PV 3.2 al m²

<i>Strato</i>		<i>Costo materiale €/m²</i>	<i>Costo manodopera €/m²</i>	<i>Costo totale €/m²</i>
1-2	Strato di finitura esterno, discontinuo, su struttura metallica	23,50	20,00	43,50
3	Intercapedine ventilata	0,00	0,00	0,00
4-4.1- 4.2	Strato di coibentazione	Costo di materiale + posa in opera a regola d'arte variabile in funzione dello spessore dei pannelli		
5-6	Strato di collegamento e regolarizzazione	6,50	8,50	15,00
7	Strato portante interno	35,25	15,00	50,25
8	Strato di regolarizzazione interno	6,50	8,50	15,00
9	Strato di finitura continuo interno	3,00	7,00	10,00
Totale		C1= 74,75	C2= 59,00	133,75+

			Coibente
--	--	--	----------

Capitolo 9

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di legge

9.1 Verifica della possibilità di impiego delle varie soluzioni nelle diverse zone climatiche.

In riferimento ai tipi di tamponatura maggiormente impiegati nelle costruzioni (che sono stati descritti nel Cap. 8) si è verificata la possibilità di impiego delle suddette per le varie zone climatiche. In particolare si è verificato rispetto agli standard di legge al 1° gennaio 2010, il rispetto dei limiti di trasmittanza e massa superficiale limite, tenendo costante per il tipo di parete lo spessore totale , ma facendo variare a seconda della zona climatica in cui si analizza la parete, lo spessore dell'isolante e quindi di conseguenza lo spessore della lama d'aria in modo da avere lo spessore totale dell'intera intercapedine costante. Questa analisi ha consentito di individuare uno spessore minimo del coibente per il rispetto degli standard normativi.

Successivamente riferendosi agli spessori minimi sono stati riportati gli spessori commerciali del coibente scelto.

Di seguito è stato possibile quindi individuare con riferimento alla valutazione economica del tipo di parete, (così come riportato nel Cap. 8) il costo al m² della

parete. A questo punto si sono potuto confrontare il costo della parete con i benefici della stessa (ossia con i valori reali di trasmittanza), e con la sua massa. Tutto questo fatto per le diverse zone climatiche, dalla A alla F, per le diverse soluzioni del repertorio progettuale riportato nel Cap. 8, ma, è stato poi ripetuto facendo variare il tipo di coibente, in particolare si è scelto:

1. Uno strato di coibentazione in vetro cellulare inorganico in pannelli, densità non inferiore a 120 kg/m^3 , reazione al fuoco classe 0, resistenza a compressione 7 kg/cm^2 , trattata con resine termoindurenti, conduttività $0,0429 \text{ W/mK}$ Polistirene espanso
2. Uno strato di coibentazione in lastre di polistirene espanso densità 35 kg/m^3 con pelle per isolante termico, con trattamento antifiamma (classe 1 di reazione al fuoco), conduttività $0,033 \text{ W/mK}$
3. Uno strato di coibentazione con pannelli di legno tipo sughero autocollato espanso con contenuto medio dell'umidità dal 2 al 4% densità 130 kg/m^3 , conduttività $0,0451 \text{ W/mK}$.

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 229 legge

9.1.1 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in vetro cellulare

Tabella 1

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	minimo per il rispetto della	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m ² K	cm	cm	cm	W/m ² K	Kg/m ²	Kg/m ²	€/m ²	€/m ²	W/m ² K	Kg/m ² €
1,1	A	0,620	1,10	2,00	6,00	0,546	327,20	230,00	12,15	107,07	1,06	3,06
1,1	B	0,480	3,10	4,00	5,00	0,436	327,60	230,00	18,31	113,23	0,97	2,89
1,1	C	0,400	5,00	5,00	4,00	0,395	327,80	230,00	21,50	116,42	0,87	2,82
1,1	D	0,360	6,10	7,00	2,00	0,334	328,20	230,00	27,88	122,80	0,88	2,67
1,1	E	0,340	6,80	7,00	2,00	0,334	328,20		27,88	122,80	0,83	2,67
1,1	F	0,330	7,20	8,00	1,00	0,310	328,40		31,08	126,00	0,84	2,61
1,2	A	0,620	0,00	0,00	9,00	0,620	301,38	230,00	0,00	122,37	0,82	2,46
1,2	B	0,480	2,10	3,00	6,00	0,434	301,98	230,00	15,12	137,49	0,80	2,20
1,2	C	0,400	3,90	4,00	5,00	0,394	302,18	230,00	18,31	140,68	0,72	2,15
1,2	D	0,360	5,10	6,00	3,00	0,333	302,58	230,00	24,70	147,07	0,74	2,06
1,2	E	0,340	5,80	6,00	3,00	0,333	302,58		24,70	147,07	0,69	2,06
1,2	F	0,330	6,10	7,00	2,00	0,309	302,78		27,88	150,25	0,71	2,02
2,1	A	0,620	2,90	3,00	6,00	0,608	469,40	230,00	15,12	106,74	0,96	4,40
2,1	B	0,480	4,90	5,00	4,00	0,473	469,80	230,00	21,50	113,12	0,90	4,15
2,1	C	0,400	6,70	7,00	2,00	0,388	470,20	230,00	27,88	119,50	0,86	3,93
2,1	D	0,360	7,90	8,00	1,00	0,356	470,40	230,00	31,08	122,70	0,82	3,83
2,1	E	0,340	8,60	9,00	0,00	0,329	470,60		34,24	125,86	0,82	3,74
2,1	F	0,330	9,00	9,00	0,00	0,329	470,60		34,24	125,86	0,80	3,74

Tabella 2

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	minimo per il rispetto della	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m ² K	cm	cm	cm	W/m ² K	Kg/m ²	Kg/m ²	€/m ²	€/m ²	W/m ² K	Kg/m ² €
2,2	B	0,480	2,20	3,00	6,00	0,437	263,99	230,00	15,12	131,49	0,84	2,01
2,2	C	0,400	4,00	4,00	5,00	0,397	264,19	230,00	18,31	134,68	0,75	1,96
2,2	D	0,360	5,10	6,00	3,00	0,335	264,59	230,00	24,70	141,07	0,76	1,88
2,2	E	0,340	5,80	6,00	3,00	0,335	264,59		24,70	141,07	0,72	1,88
2,2	F	0,330	6,20	7,00	2,00	0,311	264,79		27,88	144,25	0,74	1,84
3,1	A	0,620	1,90	2,00	7,00	0,611	272,42	230,00	12,15	118,45	0,86	2,30
3,1	B	0,480	3,90	4,00	5,00	0,476	272,82	230,00	18,31	124,61	0,81	2,19
3,1	C	0,400	5,70	6,00	3,00	0,389	273,22	230,00	24,70	131,00	0,78	2,09
3,1	D	0,360	6,90	7,00	2,00	0,357	273,42	230,00	27,88	134,18	0,75	2,04
3,1	E	0,340	7,60	8,00	1,00	0,329	273,62		31,08	138,10	0,75	1,98
3,1	F	0,330	8,00	8,00	1,00	0,329	273,62		31,08	138,10	0,73	1,98
3,2	A	0,620	1,00	3,00	6,00	0,477	233,71	230,00	12,15	145,90	0,89	1,60
3,2	B	0,480	3,00	3,00	6,00	0,477	233,71	230,00	15,12	148,87	0,68	1,57
3,2	C	0,400	4,80	5,00	4,00	0,390	234,11	230,00	21,50	155,25	0,66	1,51
3,2	D	0,360	6,00	6,00	2,00	0,358	234,31	230,00	24,70	158,45	0,63	1,48
3,2	E	0,340	6,70	7,00	2,00	0,330	234,51		27,88	161,63	0,64	1,45
3,2	F	0,330	7,00	7,00	2,00	0,330	234,51		27,88	161,63	0,62	1,45

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 231 legge

9.1.2 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in polistirene

Tabella 1

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	minimo per il rispetto della	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m ² K	cm	cm	cm	W/m ² K	Kg/m ²	Kg/m ²	€/m ²	€/m ²	W/m ² K	Kg/m ² €
1,1	A	0,620	0,90	3,00	6,00	0,440	327,85	230,00	4,96	99,88	1,41	3,28
1,1	B	0,480	2,40	3,00	6,00	0,440	327,85	230,00	4,96	99,88	1,09	3,28
1,1	C	0,400	3,80	4,00	5,00	0,388	328,20	230,00	6,02	100,94	1,02	3,25
1,1	D	0,360	4,70	5,00	4,00	0,347	328,55	230,00	7,02	101,94	1,02	3,22
1,1	E	0,340	5,20	6,00	3,00	0,314	328,90		8,09	103,01	1,05	3,19
1,1	F	0,330	5,50	6,00	3,00	0,314	328,90		8,09	103,01	1,02	3,19
1,2	A	0,620	0,00	0,00	9,00	0,620	301,38	230,00	0,00	122,37	0,82	2,46
1,2	B	0,480	1,60	3,00	6,00	0,398	302,43	230,00	4,96	127,33	0,95	2,38
1,2	C	0,400	3,00	3,00	6,00	0,398	302,43	230,00	4,96	127,33	0,79	2,38
1,2	D	0,360	3,90	4,00	5,00	0,355	302,78	230,00	6,02	128,39	0,79	2,36
1,2	E	0,340	4,40	5,00	4,00	0,320	303,13		7,02	129,39	0,82	2,34
1,2	F	0,330	4,70	5,00	4,00	0,320	303,13		7,02	129,39	0,80	2,34
2,1	A	0,620	2,20	3,00	6,00	0,539	469,85	230,00	4,96	96,58	1,19	4,86
2,1	B	0,480	3,80	4,00	5,00	0,463	470,20	230,00	6,02	97,64	1,06	4,82
2,1	C	0,400	5,20	6,00	3,00	0,362	470,90	230,00	8,09	99,71	1,11	4,72
2,1	D	0,360	6,10	7,00	2,00	0,326	471,25	230,00	9,16	100,78	1,10	4,68
2,1	E	0,340	6,60	7,00	2,00	0,326	471,25		9,16	100,78	1,03	4,68
2,1	F	0,330	6,90	7,00	2,00	0,326	471,25		9,16	100,78	1,00	4,68

Tabella 2

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	minimo per il rispetto della	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m ² K	cm	cm	cm	W/m ² K	Kg/m ²	Kg/m ²	€/m ²	€/m ²	W/m ² K	Kg/m ² €
2,2	A	0,620	0,00	0,00	9,00	0,620	263,43	230,00	0,00	116,37	0,86	2,26
2,2	B	0,480	1,70	3,00	6,00	0,400	264,44	230,00	4,96	121,33	0,99	2,18
2,2	C	0,400	3,00	3,00	6,00	0,400	264,44	230,00	4,96	121,33	0,82	2,18
2,2	D	0,360	4,00	4,00	5,00	0,357	264,79	230,00	6,02	122,39	0,82	2,16
2,2	E	0,340	4,50	5,00	4,00	0,322	265,14		7,02	123,39	0,86	2,15
2,2	F	0,330	4,80	5,00	4,00	0,322	265,14		7,02	123,39	0,83	2,15
3,1	A	0,620	1,50	3,00	6,00	0,481	273,07	230,00	4,96	111,26	1,16	2,45
3,1	B	0,480	3,10	4,00	5,00	0,420	273,42	230,00	6,02	112,32	1,02	2,43
3,1	C	0,400	4,40	5,00	4,00	0,372	273,77	230,00	7,02	113,32	0,95	2,42
3,1	D	0,360	5,30	6,00	3,00	0,335	274,12	230,00	8,09	114,39	0,94	2,40
3,1	E	0,340	5,90	6,00	3,00	0,335	274,12		8,09	114,39	0,89	2,40
3,1	F	0,330	6,20	7,00	2,00	0,304	274,47		9,16	115,46	0,94	2,38
3,2	A	0,620	0,80	3,00	6,00	0,434	234,16	230,00	4,96	138,71	1,03	1,69
3,2	B	0,480	2,30	3,00	6,00	0,434	234,16	230,00	4,96	138,71	0,80	1,69
3,2	C	0,400	3,70	4,00	5,00	0,383	234,51	230,00	6,02	139,77	0,75	1,68
3,2	D	0,360	4,60	5,00	4,00	0,344	234,86	230,00	7,02	140,77	0,74	1,67
3,2	E	0,340	5,10	6,00	3,00	0,311	235,21		8,09	141,84	0,77	1,66
3,2	F	0,330	5,40	6,00	3,00	0,311	235,21		8,09	141,84	0,75	1,66

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 233 legge

9.1.3 Confronto delle varie soluzioni con pannelli in “Sughero”

Tabella 1

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	Sp. Coibente minimo per il rispetto della legge	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m ² K	cm	cm	cm	W/m ² K	Kg/m ²	Kg/m ²	€/m ²	€/m ²	W/m ² K	Kg/m ² €
1,1	A	0,620	1,20	2,00	7,00	0,533	329,40	230,00	4,29	99,21	1,17	3,32
1,1	B	0,480	3,30	4,00	5,00	0,444	332,00	230,00	8,57	103,49	1,04	3,21
1,1	C	0,400	5,20	6,00	3,00	0,371	334,60	230,00	12,85	107,77	1,00	3,10
1,1	D	0,360	6,40	7,00	2,00	0,343	335,90	230,00	14,99	109,91	0,95	3,06
1,1	E	0,340	7,10	8,00	1,00	0,319	337,20		17,13	112,05	0,95	3,01
1,1	F	0,330	7,50	8,00	1,00	0,319	337,20		17,13	112,05	0,92	3,01
1,2	A	0,620	0,00	0,00	9,00	0,620	301,38	230,00	0,00	122,37	0,82	2,46
1,2	B	0,480	2,20	3,00	6,00	0,440	305,28	230,00	6,43	128,80	0,85	2,37
1,2	C	0,400	4,10	5,00	4,00	0,368	307,88	230,00	10,71	133,08	0,82	2,31
1,2	D	0,360	5,30	6,00	3,00	0,341	309,18	230,00	12,85	135,22	0,78	2,29
1,2	E	0,340	6,10	7,00	2,00	0,317	310,48		14,99	137,36	0,78	2,26
1,2	F	0,330	6,50	7,00	2,00	0,317	310,48		14,99	137,36	0,76	2,26
2,1	A	0,620	3,10	4,00	5,00	0,546	474,00	230,00	8,57	100,19	1,13	4,73
2,1	B	0,480	5,20	6,00	3,00	0,439	476,60	230,00	12,85	104,47	1,05	4,56
2,1	C	0,400	7,00	7,00	2,00	0,400	477,90	230,00	14,99	106,61	0,94	4,48
2,1	D	0,360	8,30	9,00	0,00	0,340	480,50	230,00	19,27	110,89	0,95	4,33
2,1	E	0,340	9,00	9,00	0,00	0,340	480,50		19,27	110,89	0,90	4,33
2,1	F	0,330	9,40	9,50	\	0,328	481,15		20,34	111,69	0,90	4,31

Tabella 2

Soluzione di chiusura	Zona climatica	U limite 2010	minimo per il rispetto della	Sp. Coibente commerciale	Sp. Effettivo intercapedine	U effettivo	Massa Superficiale	Massa superficiale limite	Costo Coibente	Costo parete	Benefici /Costi	Massa\Costi
P.V.	Z.C.	W/m2K	cm	cm	cm	W/m2K	Kg/m2	Kg/m2	€/m2	€/m2	W/m2K	Kg/m2€
2,2	A	0,620	0,00	0,00	9,00	0,620	263,39	230,00	0,00	116,37	0,86	2,26
2,2	B	0,480	2,30	3,00	6,00	0,444	267,29	230,00	6,43	122,80	0,88	2,18
2,2	C	0,400	4,10	5,00	4,00	0,371	269,89	230,00	10,71	127,08	0,85	2,12
2,2	D	0,360	5,40	6,00	3,00	0,343	271,19	230,00	12,85	129,22	0,81	2,10
2,2	E	0,340	6,10	7,00	2,00	0,318	272,49		14,99	131,36	0,81	2,07
2,2	F	0,330	6,50	7,00	2,00	0,318	272,49		14,99	131,36	0,79	2,07
3,1	A	0,620	2,00	2,00	7,00	0,620	274,62	230,00	4,29	110,59	0,90	2,48
3,1	B	0,480	4,20	5,00	4,00	0,439	278,52	230,00	10,71	117,01	0,93	2,38
3,1	C	0,400	6,00	6,00	3,00	0,400	279,82	230,00	12,85	119,15	0,84	2,35
3,1	D	0,360	7,30	8,00	1,00	0,340	282,42	230,00	17,13	123,43	0,86	2,29
3,1	E	0,340	8,00	8,00	1,00	0,340	282,42		17,13	123,43	0,81	2,29
3,1	F	0,330	8,40	9,00	0,00	0,316	283,72		19,27	125,57	0,83	2,26
3,2	A	0,620	1,00	2,00	7,00	0,544	235,71	230,00	4,29	138,04	0,83	1,71
3,2	B	0,480	3,10	4,00	5,00	0,438	238,31	230,00	8,57	142,32	0,77	1,67
3,2	C	0,400	5,00	5,00	4,00	0,399	239,61	230,00	10,71	144,46	0,69	1,66
3,2	D	0,360	6,30	7,00	2,00	0,339	242,21	230,00	14,99	148,74	0,71	1,63
3,2	E	0,340	7,00	7,00	2,00	0,339	242,21		14,99	148,74	0,67	1,63
3,2	F	0,330	7,40	8,00	1,00	0,315	243,51		17,13	150,88	0,69	1,61

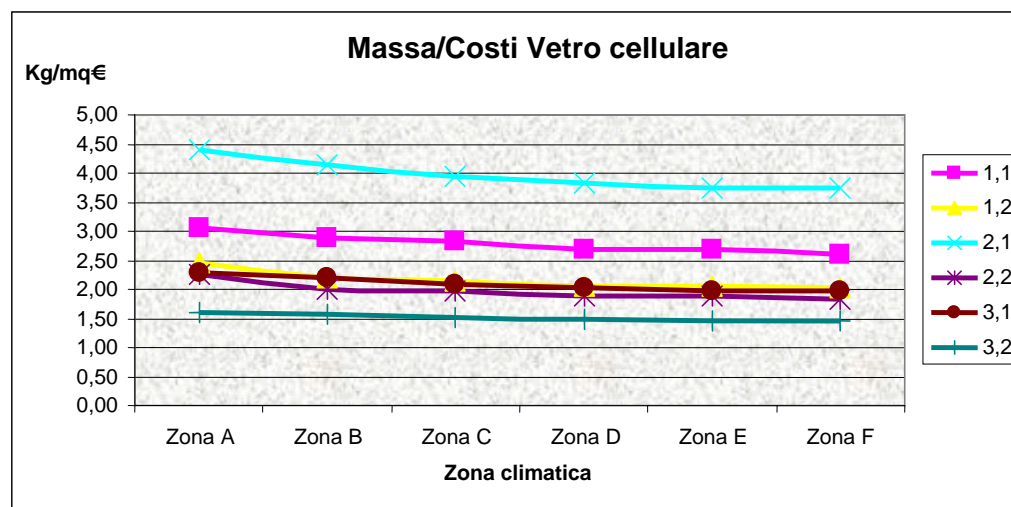
Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 235 legge

9.2 Confronto Massa/Costi

Si è potuto esaminare quindi il rapporto massa/costi per lo stesso tipo di coibente, facendo variare il tipo di chiusura verticale, ipotizzando un loro utilizzo di volta in volta in zone climatiche differenti, e ciò ha consentito di creare una sorta di tabella di confronto con un conseguente grafico, di semplice lettura, dove sono considerate le curve Massa/Costi per le varie P.V. in funzione della Zona Climatica nonché di valori differenti Massa/Costi.

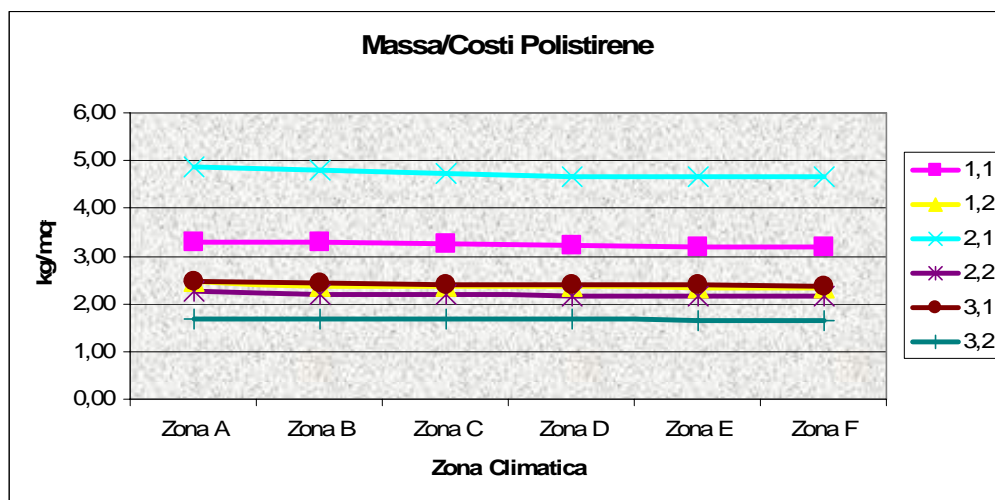
9.2.1 Confronto Massa/Costi con pannelli in vetro cellulare

Vetro cellulare	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€
1,1	3,06	2,89	2,82	2,67	2,67	2,61
1,2	2,46	2,20	2,15	2,06	2,06	2,02
2,1	4,40	4,15	3,93	3,83	3,74	3,74
2,2	2,26	2,01	1,96	1,88	1,88	1,84
3,1	2,30	2,19	2,09	2,04	1,98	1,98
3,2	1,60	1,57	1,51	1,48	1,45	1,45



9.2.2 Confronto Massa/Costi con pannelli in polistirene

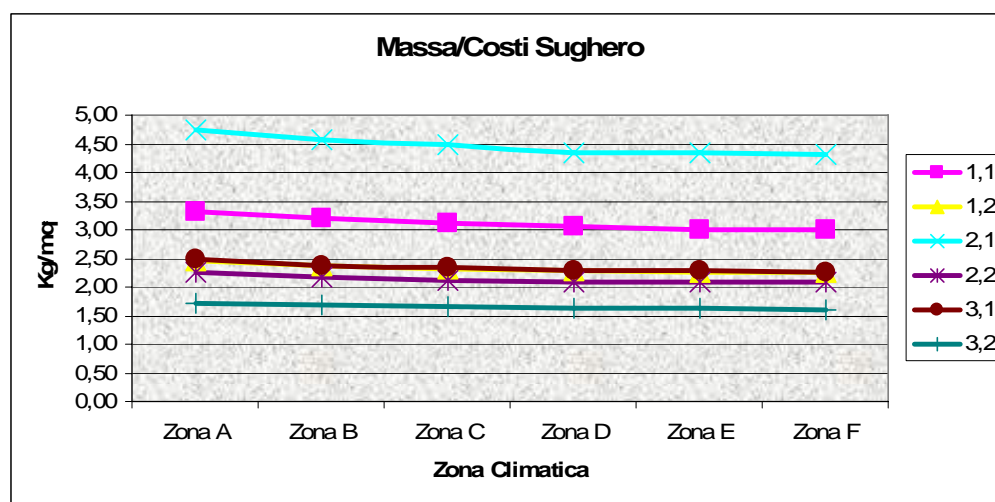
Polistirene	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€
1,1	3,28	3,28	3,25	3,22	3,19	3,19
1,2	2,46	2,38	2,38	2,36	2,34	2,34
2,1	4,86	4,82	4,72	4,68	4,68	4,68
2,2	2,26	2,18	2,18	2,16	2,15	2,15
3,1	2,45	2,43	2,42	2,40	2,40	2,38
3,2	1,69	1,69	1,68	1,67	1,66	1,66



Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 237 legge

9.2.3 Confronto Massa/Costi con pannelli in sughero

Sughero	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€	Kg/mq€
1,1	3,32	3,21	3,10	3,06	3,01	3,01
1,2	2,46	2,37	2,31	2,29	2,26	2,26
2,1	4,73	4,56	4,48	4,33	4,33	4,31
2,2	2,26	2,18	2,12	2,10	2,07	2,07
3,1	2,48	2,38	2,35	2,29	2,29	2,26
3,2	1,71	1,67	1,66	1,63	1,63	1,61

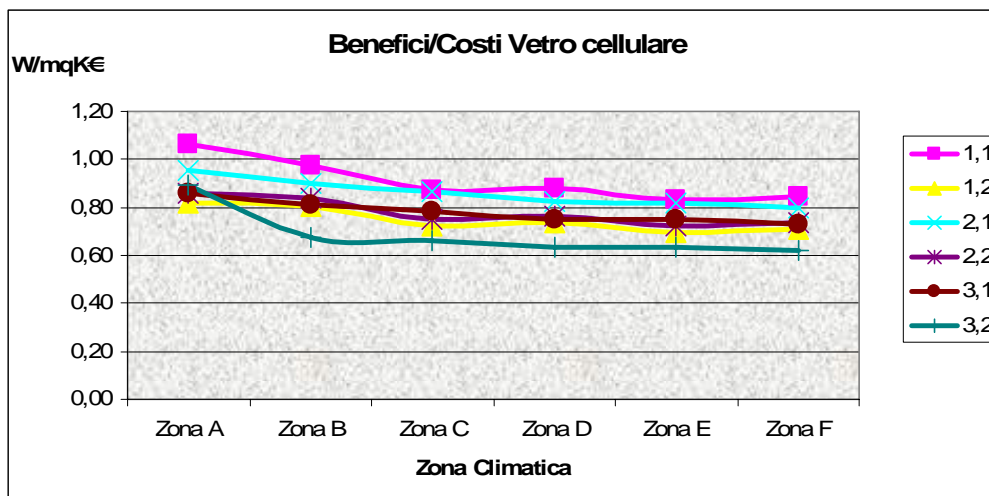


9.3 Confronto Benefici/Costi

Si è potuto esaminare inoltre il rapporto Benefici/costi per lo stesso tipo di coibente, facendo variare il tipo di chiusura verticale, ipotizzando un loro utilizzo di volta in volta in zone climatiche differenti, e ciò ha consentito di creare una sorta di tabella di confronto con un conseguente grafico, di semplice lettura, dove sono considerate le curve Benefici/Costi per le varie P.V. in funzione della Zona Climatica nonché di valori differenti Benefici/Costi.

9.3.1 Confronto Benefici/Costi con pannelli in vetro cellulare

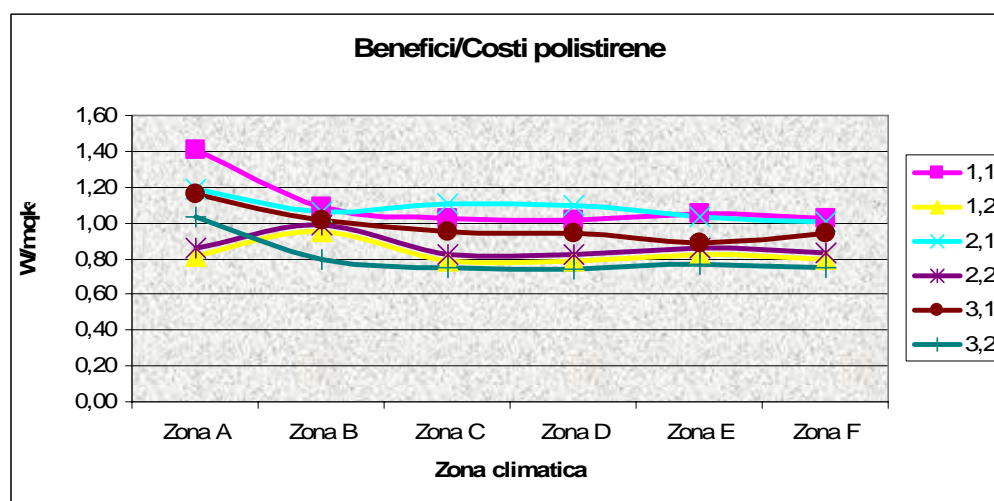
Sughero	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€
1,1	1,06	0,97	0,87	0,88	0,83	0,84
1,2	0,82	0,80	0,72	0,74	0,69	0,71
2,1	0,96	0,90	0,86	0,82	0,82	0,80
2,2	0,86	0,84	0,75	0,76	0,72	0,74
3,1	0,86	0,81	0,78	0,75	0,75	0,73
3,2	0,89	0,68	0,66	0,63	0,64	0,62



Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 239 legge

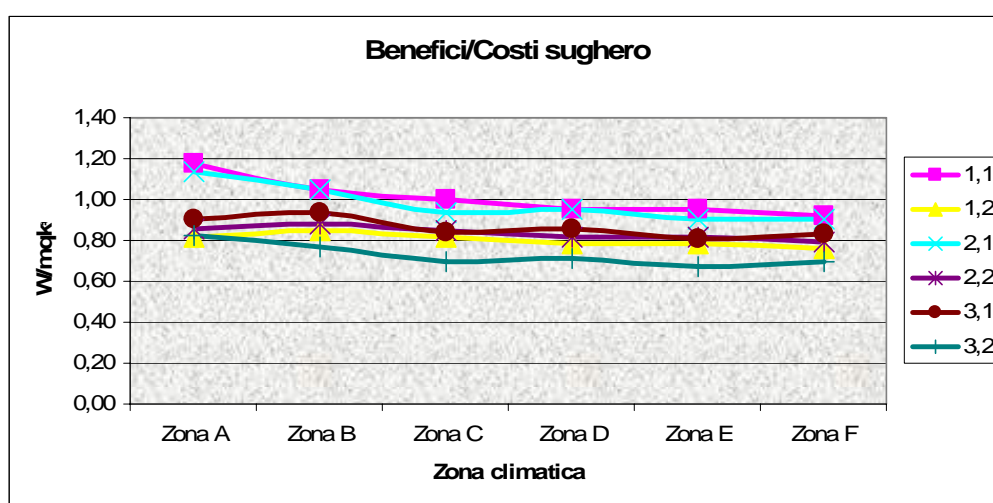
9.3.2 Confronto Benefici/Costi con pannelli in polistirene

Polistirene	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€
1,1	1,41	1,09	1,02	1,02	1,05	1,02
1,2	0,82	0,95	0,79	0,79	0,82	0,80
2,1	1,19	1,06	1,11	1,10	1,03	1,00
2,2	0,86	0,99	0,82	0,82	0,86	0,83
3,1	1,16	1,02	0,95	0,94	0,89	0,94
3,2	1,03	0,80	0,75	0,74	0,77	0,75



9.3.3 Confronto Benefici/Costi con pannelli in sughero

Polistirene	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
P.V.	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€	w/mqK€
1,1	1,17	1,04	1,00	0,95	0,95	0,92
1,2	0,82	0,85	0,82	0,78	0,78	0,76
2,1	1,13	1,05	0,94	0,95	0,90	0,90
2,2	0,86	0,88	0,85	0,81	0,81	0,79
3,1	0,90	0,93	0,84	0,86	0,81	0,83
3,2	0,83	0,77	0,69	0,71	0,67	0,69



Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 241 legge

9.4 Confronto con i valori dell' EPI al 01/01/2010

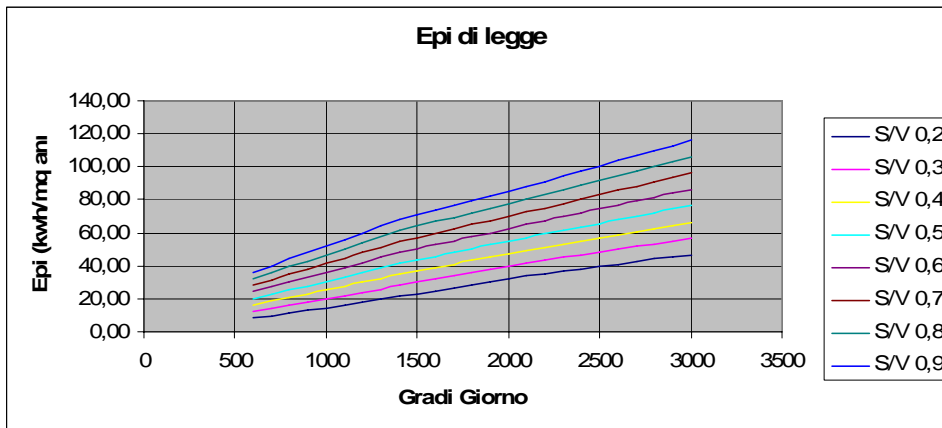
Considerati i valori limite, applicabili dal 1° gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica EPI, in kWh/m² anno, per la climatizzazione invernale, per Edifici della classe E 1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (DL n. 311, 29/12/2006)_

S/V	Zona Climatica									
A	B			C		D	E		F	
	gradi giorno	gradi giorno		gradi giorno		Gradi giorno		Gradi giorno		gradi giorno
	fino a 600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	oltre 3000
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

E' stata svolta un'interpolazione di questi valori in modo da avere una tabella più ampia che esprima i valori dell'EPI in funzione di S/V e dei differenti valori di G.G.

G.G.	S/V 0,2	S/V 0,3	S/V 0,4	S/V 0,5	S/V 0,6	S/V 0,7	S/V 0,8	S/V 0,9
600	8,50	12,40	16,40	20,30	24,20	28,10	32,10	36,00
700	9,90	14,20	18,50	22,80	27,10	31,40	35,70	40,00
800	11,40	16,00	20,70	25,40	30,00	34,70	39,30	44,00
900	12,80	17,80	22,90	27,90	32,90	37,90	43,00	48,00
1000	14,50	19,90	25,20	30,60	35,90	41,30	46,60	52,00
1100	16,20	21,90	27,60	33,30	38,90	44,60	50,30	56,00
1200	17,90	23,90	29,90	35,90	42,00	48,00	54,00	60,00
1300	19,60	25,90	32,30	38,60	45,00	51,30	57,70	64,00
1400	21,30	28,00	34,60	41,30	48,00	54,70	61,30	68,00
1500	23,10	29,90	36,80	43,60	50,40	57,20	64,00	70,90
1600	24,90	31,90	38,90	45,80	52,80	59,80	66,70	73,70
1700	26,70	33,90	41,00	48,10	55,20	62,30	69,50	76,60
1800	28,60	35,80	43,10	50,40	57,60	64,90	72,20	79,40
1900	30,40	37,80	45,20	52,60	60,00	67,50	74,90	82,30
2000	32,20	39,80	47,30	54,90	62,40	70,00	77,60	85,10
2100	34,00	41,70	49,40	57,10	64,90	72,60	80,30	88,00
2200	35,40	43,40	51,30	59,30	67,20	75,20	83,20	91,10
2300	36,80	45,00	53,20	61,40	69,60	77,80	86,00	94,20
2400	38,30	46,70	55,10	63,60	72,00	80,50	88,90	97,30
2500	39,70	48,40	57,00	65,70	74,40	83,10	91,80	100,40
2600	41,10	50,00	59,00	67,90	76,80	85,70	94,60	103,60
2700	42,50	51,70	60,90	70,00	79,20	88,30	97,50	106,70
2800	44,00	53,40	62,80	72,20	81,60	91,00	100,40	109,80
2900	45,40	55,00	64,70	74,30	84,00	93,60	103,20	112,90
3000	46,80	56,70	66,60	76,50	86,30	96,20	106,10	116,00

Detta tabella è stata poi rappresentata in un grafico (Gradi-Giorno/Epi) al variare dei valori di S/V



Si è passati quindi a stabilire una procedura di progettazione e verifica per una determinata soluzione dell'EPI, rispetto ai limiti normativi;

Definito quindi:

EPI		Indice di prestazione energetica.
	[kWh/m2anno]	Esprime i kWh disperdibili, per metro quadrato o per metro
	[kWh/m3anno]	cubo, in 1 anno. $EPI = 103 \times \Phi_{tot} / (V \times \text{anno})$

1) Considero:

$$\Phi_{tot} = \sum_i U_i \times S_i \times (T_i - T_e) \quad (W) \quad \text{dove:}$$

- Φ_{tot} è il flusso termico complessivo disperso
- \sum_i è la sommatoria dei flussi dispersi estesa a tutti gli elementi disperdenti (strutture opache verticali, strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, strutture opache orizzontali di pavimento, pareti traslucide, e/o trasparenti, ponti termici)
- U_i è il coefficiente di trasmittanza dell'elemento i-mo dell'involucro
- S_i è la superficie in metri quadrati dello i-mo elemento disperdente
- T_i è la temperatura interna di progetto T_e è la temperatura esterna di progetto

2) Volendo poi trasformare il flusso espresso in W in flusso espresso in kWh/anno

$$\Phi_{tot} (KWh) = 10^3 \times \Phi_{tot} \times N \quad (kwh/anno) \quad \text{dove:}$$

Stabilito il numero di ore N di funzionamento dell'impianto in un anno si ricavano i kWh corrispondenti ai watt del flusso totale

Valuto quindi i limiti di esercizio degli impianti termici

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 243 legge

Zona Climatica						
A	B	C	D	E	F	
periodo	1° dicembre	1° dicembre	15 novembre	1° novembre	15 ottobre	Nessuna limitazione
	15 marzo	31 marzo	31 marzo	15 aprile	15 aprile	
n. ore	6	8	10	12	14	Nessuna limitazione
n. ore totali	630	968	1370	1992	2562	

3) Procedo poi ad esprimere l'EPI del mio edificio in funzione del suo flusso

$$E_{pi} = \Phi_{tot} (KWh) / S_{tot} \quad (kwh/mq \text{ anno}) \text{ dove:}$$

In relazione alla categoria di edificio si calcola l'indice di prestazione energetica EPI, dividendo i kwh per la superficie totale riscaldata, per gli edifici E1:

4) Determinazione dell'indice EPI ammissibile e verifica

In funzione del rapporto di forma S/V e della zona climatica in cui ricade l'edificio, si determina, mediante interpolazioni lineari, il valore limite dell'indice di prestazione energetica EPI .

Se risulta:

- $EP \leq EPI$; le dispersioni dall'involucro rientrano nei limiti imposti dalla legge.

Se, invece, risulta:

- $EP > EPI$; si dovrà intervenire aumentando la resistenza termica dell'involucro per ridurre le dispersioni nei limiti della legge.

9.5 Confronto dell'EPI con le soluzioni di chiusura scelte

Praticamente, come specificato, il flusso totale del mio edificio posso esprimerlo come

$$\Phi_{\text{tot}} = (U_c \cdot S_c + U_v \cdot S_v + U_i \cdot S_i + U_t \cdot S_t) \cdot (T_i - T_e) \quad (\text{W}) \quad \text{dove:}$$

Posti:

$$(S_i + S_t) = \beta S \quad \text{ossia } S_{\text{vert.}}/S_{\text{tot}} = \beta \quad \text{con } \beta = (0,5-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0)$$

$$S_i = 0,3 S_t$$

$$S_c = S_v$$

$$S/V = \lambda \quad \lambda = (0,2-0,3-0,4-0,5-0,6-0,7-0,8-0,9)$$

$$(T_i - T_e) = \Delta T = (10^\circ - 15^\circ - 20^\circ - 25^\circ - 30^\circ - 35^\circ - 40^\circ)$$

si ha che:

$$S_t = b S / 1,3$$

$$S_c = S_v = 0,5 \cdot S \cdot (1 - b)$$

Ciò ha consentito la formulazione di una procedura di calcolo

1. Definisco U_c , U_v , U_i
2. Definisco P.V. ossia U_t
3. Definisco $S/V = l$
4. Definisco $S_{\text{vert.}}/S_{\text{tot}} = b$
5. Pongo $S_i = 0,3 S_t$
6. Calcolo $E_{\text{pi}}/N_{\text{VDT}}$
7. Considero D_t
8. Calcolo E_{pi}/N_V
9. Considero la mia Z.C.
10. Considero N
11. Calcolo il mio E_{pi}
- 12. Confronto E_{pi} con E_{pi} di legge**

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 245 legge

13. .Se $E_{pi} < E_{pi}$ di legge OK

14. .Se $E_{pi} > E_{pi}$ di legge devo variare la mia U_t , in modo da verificare, cambiando coibente o P.V.

	ZC	GG	TP	U_c (W/m ² K)	U_v (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	S/V λ (m ⁻¹)	S_v/S β
1	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	0,50
2	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	1,00
3	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	1,50
4	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	2,00
5	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	2,50
6	C	110 0	PV1.1	0,38	0,42	2,60	0,40	0,400	3,00

	$E_{pi}/NV\Delta T$ (KW/m ³ K)	Δt (K)	E_{pi}/NV (KW/m ³)	N (h/anno)	E_{pi} (KWh/m ² anno)	$E_{pi}(amm)$ (KWh/m ² anno)
1	0,00026	18,00	0,0047	1370	16,124	44,60
2	0,00036	18,00	0,0065	1370	22,384	44,60
3	0,00046	18,00	0,0084	1370	28,644	44,60
4	0,00057	18,00	0,0102	1370	34,903	44,60
5	0,00067	18,00	0,0120	1370	41,163	44,60
6	0,00077	18,00	0,0138	1370	47,423	44,60

9.6 Calcolo di Epi/NVDT $f(\beta, S/V)$ Per P.V.1.1

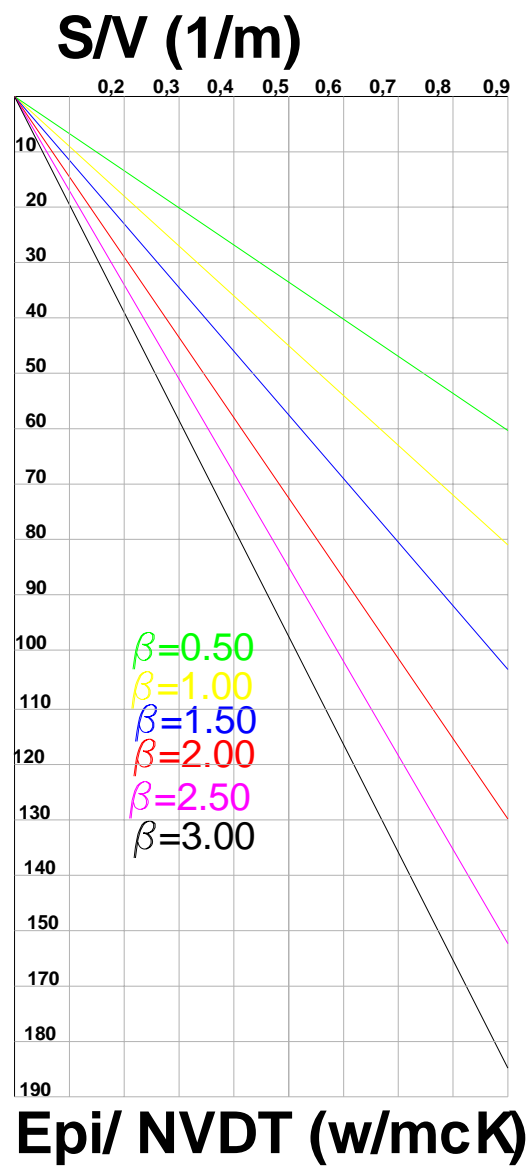
Procedendo per passi, definita la tipologia di parete che si vuole utilizzare, si possono definire per le diverse zone climatiche, e per valori di β variabili tra 0,50 e 3,00 dei valori dell'EPI depauperati però del numero di ore di funzionamento dell'impianto e del salto termico dell'edificio.

ZONA CLIMATICA A						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,154	0,205	0,256	0,306	0,357	0,408
S/V 0,3	0,231	0,307	0,383	0,460	0,536	0,612
S/V 0,4	0,308	0,409	0,511	0,613	0,714	0,816
S/V 0,5	0,385	0,512	0,639	0,766	0,893	1,020
S/V 0,6	0,462	0,614	0,767	0,919	1,072	1,224
S/V 0,7	0,538	0,716	0,894	1,072	1,250	1,428
S/V 0,8	0,615	0,819	1,022	1,226	1,429	1,632
S/V 0,9	0,692	0,921	1,150	1,379	1,608	1,836
ZONA CLIMATICA B						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,106	0,125	0,144	0,164	0,183	0,202
S/V 0,3	0,159	0,188	0,217	0,245	0,274	0,303
S/V 0,4	0,212	0,251	0,289	0,327	0,366	0,404
S/V 0,5	0,265	0,313	0,361	0,409	0,457	0,505
S/V 0,6	0,318	0,376	0,433	0,491	0,548	0,606
S/V 0,7	0,372	0,439	0,506	0,573	0,640	0,707
S/V 0,8	0,425	0,501	0,578	0,654	0,731	0,808
S/V 0,9	0,478	0,564	0,650	0,736	0,822	0,909
ZONA CLIMATICA C						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,091	0,102	0,112	0,123	0,134	0,145
S/V 0,3	0,136	0,152	0,168	0,185	0,201	0,217
S/V 0,4	0,182	0,203	0,225	0,246	0,268	0,289
S/V 0,5	0,227	0,254	0,281	0,308	0,335	0,362
S/V 0,6	0,272	0,305	0,337	0,369	0,402	0,434
S/V 0,7	0,318	0,355	0,393	0,431	0,468	0,506
S/V 0,8	0,363	0,406	0,449	0,492	0,535	0,578
S/V 0,9	0,408	0,457	0,505	0,554	0,602	0,651

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 247 legge

ZONA CLIMATICA D						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,083	0,098	0,113	0,128	0,143	0,158
S/V 0,3	0,125	0,147	0,170	0,192	0,215	0,238
S/V 0,4	0,166	0,196	0,226	0,257	0,287	0,317
S/V 0,5	0,208	0,245	0,283	0,321	0,358	0,396
S/V 0,6	0,249	0,294	0,340	0,385	0,430	0,475
S/V 0,7	0,291	0,344	0,396	0,449	0,502	0,555
S/V 0,8	0,332	0,393	0,453	0,513	0,574	0,634
S/V 0,9	0,374	0,442	0,510	0,577	0,645	0,713
ZONA CLIMATICA E						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,077	0,091	0,105	0,119	0,133	0,147
S/V 0,3	0,115	0,136	0,157	0,178	0,199	0,220
S/V 0,4	0,154	0,182	0,210	0,237	0,265	0,293
S/V 0,5	0,192	0,227	0,262	0,297	0,332	0,366
S/V 0,6	0,231	0,273	0,314	0,356	0,398	0,440
S/V 0,7	0,269	0,318	0,367	0,415	0,464	0,513
S/V 0,8	0,308	0,363	0,419	0,475	0,530	0,586
S/V 0,9	0,346	0,409	0,471	0,534	0,597	0,659
ZONA CLIMATICA F						
S/V	B=0,50	B=1,00	B=1,50	B=2,00	B=2,50	B=3,00
S/V 0,2	0,074	0,087	0,100	0,112	0,125	0,138
S/V 0,3	0,111	0,130	0,149	0,169	0,188	0,207
S/V 0,4	0,148	0,173	0,199	0,225	0,250	0,276
S/V 0,5	0,185	0,217	0,249	0,281	0,313	0,345
S/V 0,6	0,222	0,260	0,299	0,337	0,376	0,414
S/V 0,7	0,258	0,303	0,348	0,393	0,438	0,483
S/V 0,8	0,295	0,347	0,398	0,450	0,501	0,552
S/V 0,9	0,332	0,390	0,448	0,506	0,564	0,621

Tabelle che risultano variabili solo in base al tipo di P.V. scelta, per cui in base a questa scelta progettuale, si possono ottenere dei grafici S/V-Epi/NVDT, in cui si hanno delle rette la cui inclinazione varia in funzione del valore di β , così, ad esempio, per la soluzione P.V. 1.1:



Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 249 legge

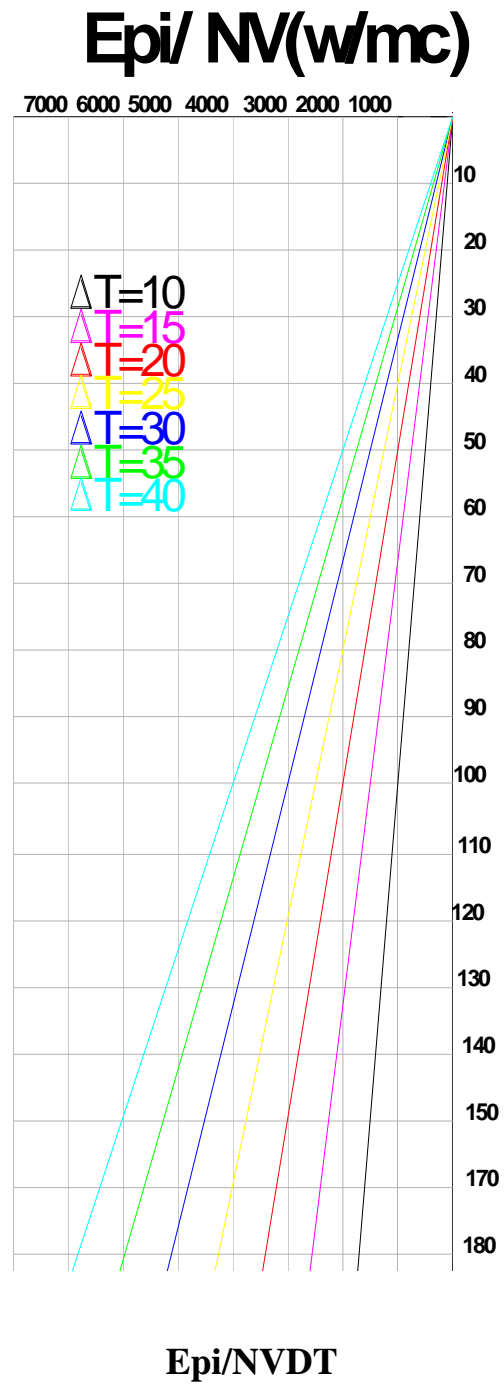
9.7 Calcolo di Epi/NV f(Epi/NVDt;Dt)

Definita la temperatura dell'aria esterna di progetto

Aosta	-10	Genova	0	Reggio Emilia	-5
Avellino	-2	L'Aquila	-5	Roma	0
Bari	0	Mantova	-5	Salerno	2
Benevento	-2	Milano	-5	Sondrio	-10
Bologna	-5	Napoli	2	Torino	-8
Cagliari	3	Padova	-5	Trento	-12
Campobasso	-4	Palermo	5	Trieste	-5
Caserta	0	Perugia	-2	Udine	-5
Ferrara	-5	Potenza	-3	Venezia	-5
Firenze	0	Reggio Calabria	3	Verona	-5
				Vicenza	-5

E definita poi la temperatura dell'aria interna di progetto, costante di 20° ,

Si può ottenere un grafico Epi/NV-Epi/NV Δ T, in cui vi sono delle rette di inclinazione variabile al variare del salto termico Δ t che di norma è compreso tra 10° e 40°.



Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 251 legge

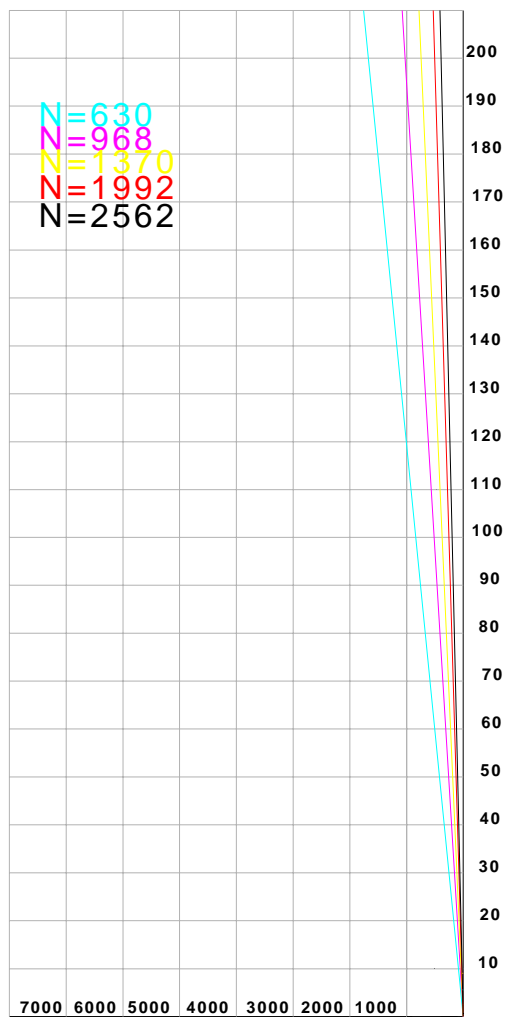
9.8 Calcolo di Epi f(Epi/NV, N)

Infine , tenendo conto che in relazione alle zone climatiche la normativa fissa anche i limiti di esercizio degli impianti termici:

- Per la zona A un numero totale di ore di funzionamento pari a 630
- Per la zona B un numero totale di ore di funzionamento pari a 968
- Per la zona C un numero totale di ore di funzionamento pari a 1370
- Per la zona D un numero totale di ore di funzionamento pari a 1992
- Per la zona E un numero totale di ore di funzionamento pari a 2562
- Per la zona F nessuna limitazione.

Si può ricavare un grafico EPI/NV-EPI, formato da rette ad inclinazione variabile in funzione del valore di N.

Epi(Kw/m q anno)

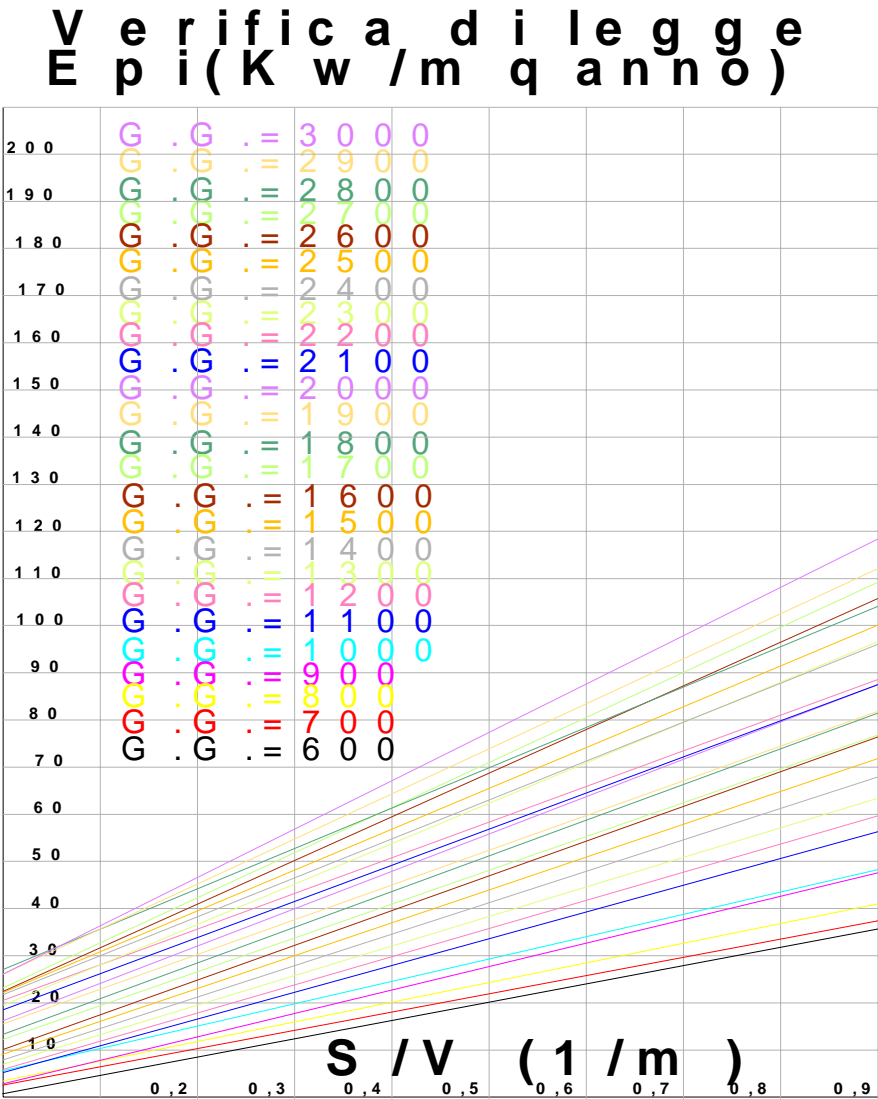


Epi/ NV(w/m c)

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 253 legge

9.9 Epi di legge

Infine si può procedere alla graficizzazione del valore EPI di legge in funzione di S/V dove si hanno delle rette di inclinazione variabile in funzione dei Gradi Giorno.



9.10 Confronto dell' Epi di legge con quello di calcolo

Ricapitolando i vari passi, il tutto si può riportare in un abaco che sarà dipendente unicamente dal tipo di P.V. utilizzato e, in funzione delle diverse grandezze già ampiamente descritte, esprimerà il valore dell'EPI dell'edificio che si sta considerando, in modo da verificare tale valore con lo standard normativo, riferito sempre allo stesso edificio.

Ciò per poter verificare in modo veloce e rapido, ancor prima di utilizzare un qualunque software, la rispondenza di una determinata soluzione progettuale, attraverso la lettura veloce all'interno dell'abaco realizzato, per poter procedere successivamente con la progettazione e verifica di tutti gli altri elementi.

In particolare, per poter usufruire di detto abaco quindi:

- Definisco U_c , U_v , U_i
- Definisco P.V. ossia U_t
- Definisco $S/V=l$
- Definisco $S_{vert}/S_{tot}=b$
- Pongo $S_i=0,3S_t$
- Calcolo E_{pi}/N_{VDT}
- Considero D_t
- Calcolo E_{pi}/N_V
- Considero la mia Z.C.
- Considero N
- Calcolo il mio E_{pi}
- **Confronto E_{pi} con E_{pi} di legge**
- **.Se $E_{pi}<E_{pi}$ di legge OK**
- **.Se $E_{pi}>E_{pi}$ di legge devo variare la mia U_t , in modo da verificare, cambiando coibente o P.V.**

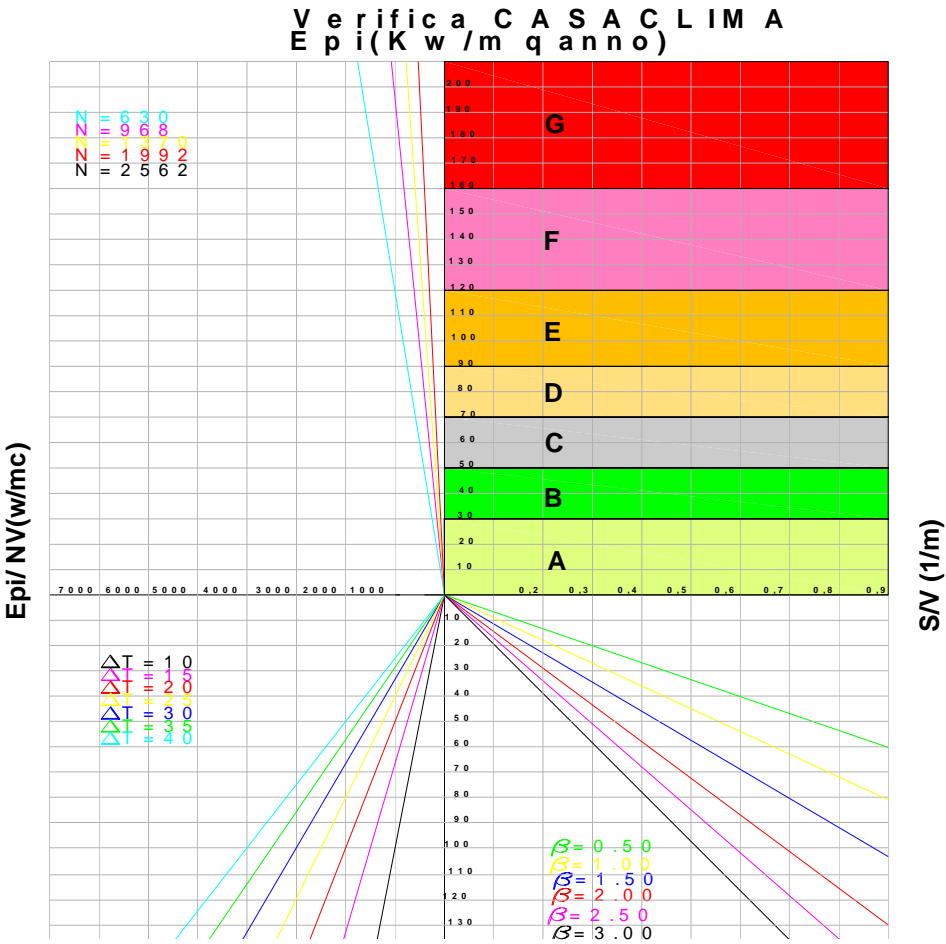
9.11 Confronto dell' Epi di legge con gli standard Casaclima

La stessa procedura può essere utilizzata per il confronto con gli standard di Casaclima, in modo da assegnare la “Classe” all'edificio in cui si è deciso di adottare una determinata soluzione progettuale.

Quindi:

- Definisco U_c , U_v , U_i
- Definisco P.V. ossia U_t
- Definisco $S/V=l$
- Definisco $S_{vert}/S_{tot}=b$
- Pongo $S_i=0,3S_t$
- Calcolo E_{pi}/N_{VDT}
- Considero D_t
- Calcolo E_{pi}/N_V
- Considero la mia Z.C.
- Considero N
- Calcolo il mio E_{pi}
- **Confronto E_{pi} con i valori di Casaclima e verifico la classe dell'edificio**

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 257 legge



9.12 Possibilità di sviluppo della ricerca

Tutto quanto è stato fatto in riferimento alle diverse soluzioni di chiusura verticale opaca, potrà essere ripetuto analogamente per tutti gli altri componenti edilizi di un'edificio, andando sempre ad individuare per ogni tipologia edilizia un repertorio di soluzioni progettuali e con riferimento ad ogni particolare soluzione, è possibile formulare un'abaco simile a quello descritto, in modo da poter procedere alla verifica di in qualunque componente dell'edificio che si sta progettando.

Il confronto, la verifica ed il progetto delle varie soluzioni rispetto agli standard di 259
legge

Capitolo 10

Conclusioni

10.1 Sintesi e risultati raggiunti:

La ricerca ha avuto come obiettivo la definizione di un percorso metodologico, che partendo dalle caratteristiche fisico -tecniche delle chiusure verticali opache di differenti organismi edilizi adibiti a civile abitazione e dalle differenti condizioni ambientali in cui si trovano detti organismi, consenta la verifica secondo gli standard normativi dell'Indice di Prestazione Energetica (EPI) dell'edificio.

Partendo da un'approfondita analisi bibliografica, relativa alle diverse esperienze dettate dalle norme negli anni, che sia in Italia che negli altri Paesi europei ha portato alla redazione nel 2002 della Direttiva Europea 2002/91/CE.

Sono stati analizzati in particolare:

- L'influenza di suddetta direttiva sulle norme dei vari paesi;
- Le diverse esperienze italiane seguite al recepimento della direttiva attraverso il D.lgs. 192/2005;
- La successiva circolare 311/2006.

Si è svolta quindi un'approfondita analisi su tutti i parametri che influenzano il contenimento energetico degli edifici e, di conseguenza la loro certificazione così come dettato dalla normativa vigente.

Dapprima si è inquadrata la problematica all'interno della branca dello sviluppo sostenibile analizzando la ricca bibliografia e i diversi aspetti della progettazione bioclimatica.

Quindi si è svolta una ricerca storico-bibliografica dell'evoluzione del concetto di contenimento energetico a partire dalla crisi energetica degli anni '70 fino all'attuazione della Direttiva 2002/91/CE.

Si è analizzato come questa direttiva, abbia cambiato l'approccio alla problematica sia a livello nazionale che internazionale, attraverso la sua adozione, con delle politiche e degli standard piuttosto differenti da Paese a Paese.

A questo punto è stato esaminato il contesto italiano con le differenti esperienze regionali ed interregionali, e con i loro differenti parametri.

Poi si sono studiati i limiti imposti dal D.lg. 192/2005 che fissa tra l'altro dei criteri di progettazione ben definiti e degli adempimenti da svolgere prima della fine dei lavori ai fini della redazione della certificazione energetica dell'edificio.

Infine sono stati esaminati i differenti componenti dell'involucro edilizio e la loro rispondenza alle esigenze di contenimento energetico, andando ad individuare un repertorio di soluzioni compatibili con i limiti dettati dalla circolare 311/2006, riferite ai valori del 1° gennaio 2010, come logica conclusione dell'intero percorso.

Quindi si è giunti all'elaborazione di un abaco che consente di verificare con immediatezza la rispondenza o meno di un qualsiasi tipo di chiusura verticale opaca per un qualsiasi edificio adibito a civile abitazione, secondo i limiti imposti dalla norma al 1° gennaio 2010 in riferimento all'Indice di Prestazione Energetica.

Per cui sono studiati i concetti di compattezza (rapporto di forma S/V) e di trasmittanza dell'edificio, per passare a quelli di inerzia termica ed orientamento.

Sono state valutate tra l'altro le tipologie di riscaldamento e quelle di raffrescamento da quelle tradizionali alle più innovative, passando per l'utilizzo delle energie rinnovabili o altri sistemi di risparmio energetico.

Si è considerata la loro applicazione in alcuni casi particolari andando a definire i concetti di “casa passiva” e a definire le loro applicazioni nelle regioni mediterranee. Vista poi l’evoluzione normativa del D.lg. 192/2005, prima con la circolare 8865/2006 e successivamente con la circolare 311/2006.

Di queste due circolari si sono esaminati in particolare:

- il cambiamento dei valori limite per la certificazione energetica;
- l’introduzione del concetto di Indice di Prestazione Energetica;
- la definizione più dettagliata dei concetti di attestazione energetica e certificazione energetica.

Infine sono stati studiati i differenti componenti dell’involucro edilizio con le loro caratteristiche fisico-tecniche che devono essere rispettate per una rispondenza alle esigenze della certificazione energetica.

il percorso metodologico, definito nel secondo anno, è stato concretizzato nell’individuazione di un repertorio di soluzioni progettuali per le chiusure verticali opache.

Di queste soluzioni progettuali si è verificata la rispondenza dei rispettivi parametri ed in particolare della trasmittanza di ogni soluzione con i valori limite imposti dalle norme italiane al 1° gennaio 2010.

A questo punto si potuto affrontare un ragionamento completo sull’intero edificio, in modo da poter confrontare il valore dell’Indice di Prestazione Energetica (EPI) rispetto ai valori imposti dalla norma, al variare delle chiusure opache e quindi delle loro caratteristiche fisico-tecniche.

Ciò è stato possibile grazie alla realizzazione di un abaco, che permetta con pochi passaggi e con pochi parametri, la verifica dell’EPI, per edifici adibiti a civile abitazione, al 1° gennaio 2010.

Bibliografia:

- W.Grassi, G. Statizzi, F. Venturelli: *“La certificazione energetica degli edifici e degli impianti”*, Maggioli Editore, Repubblica di San Marino, 2006
- G. Neretti, R. Orlandini, F. Soma, *“Il progetto termico del sistema edificio impianto”*, Hoepli, 1995
- G.Nervetti, F. Soma, *“La verifica termoigrometrica delle pareti*, Hoepli, 1982
- M. Filippi, G. Rizzo, *“Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici”*,Dario Flaccovio Editore, Palermo, Gennaio 2007
- A. Carotti, D. Madè, *“La casa Passiva in Italia”*,Rockwool, Milano, 2006
- Cappello F., C. Di Perna, *“Legge 10 e certificazione energetica degli edifici”*,Epc Libri, Roma, 2007
- F.P.R. Marino, M. Greco, *La certificazione energetica degli edifici e il D.Lgs192 del 19/8/2005”*,Epc Libri, Roma, 2006
- Legge 9 Gennaio 1991, n° 10
- D.P.R. 26 Agosto 1993, n°412
- Direttiva 2002/91/CE Del Parlamento Europeo e del consiglio del 16 Dicembre 2002 sul rendimento energetico nell’edilizia.
- Decreto Legislativo 19 Agosto 2005, n°192
- Decreto Legislativo 29 Dicembre 2006, n°311
- AA.VV. ,*“Risparmio Energetico/ Certificazione”*, Edilizia e Territorio, Il sole 24 ore Febbraio 2007
- R. Iovino, A. Irace, B. De Sivo, *“Appunti di architettura tecnica”*, Cuen, Napoli, 1989
- A. Baglioni, S. Piardi, *“Costruzioni e salute”*, Franco Angeli, Milano, 1990
- E. Micelli, *“Architettura Bioecologica”*, ANAB, Udine, 1991
- V. Olgyay, *“Progettare con il clima”*, Franco Muzzio Editore, 1990, Padova

- AA.VV., *“Politiche per la tutela del territorio”* Luciano Editore, Napoli, 2001
- A. Campioli, S. Ferrari, M. Lavagna, *“L’evoluzione del D. Lgs. 192/2005 Verifiche ed orientamenti tecnico-costruttivi”*, L’industria dei laterizi, marzo/aprile 2007, pp.104
- AA. VV. *“Massa termica e risparmio energetico”*, Costruire tecnologia, Gennaio 2007 n°284, pp.94
- AA. VV. *“ Involucri in laterizio- Ricette di chiusura”*, Costruire tecnologia, Ottobre 2006 n° 281, pp. 165
- M.C. Torricelli, C. Gargari, E.Palumbo, *“Valutazione ambientale nel ciclo di vita dei prodotti in laterizio”*, Cil n°116, pp.60
- E. Palumbo, *“Costo globale di soluzioni tecniche di involucro”*, Cil, n°109, pp.64
- C. Gargari, *“Laterizio: Energia e qualità dell’abitare”*, Cil n°112, pp. 58
- A. Di Fusco, *“Risparmio energetico e scomputo degli extraspessori dell’involucro edilizio”*, L’industria dei laterizi maggio/giugno 2007 n° 105,pp. 105
- M.C. Torricelli, E. Palumbo, L. De Cristofaro, *“Ciclo di vita di edifici in laterizio: analisi integrata ambiente, energia e costi”*, Cil n°118, pp.54
- A. Di Fusco, *“Prestazioni termiche e comportamento ambientale di soluzioni tecniche di involucro in laterizio”*, Gazzetta Novembre 2006
- M. Medola, *“Prestazioni termiche dell’involucro edilizio: soluzioni costruttive e metodi di valutazione”* L’industria dei laterizi maggio/giugno 2007 n°105 pp.1

